FadARA
Facultad de la Armada

SEDE EDUCATIVA UNIVERSITARIA
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR

UNDEF
Universidad de la Defensa Nacional

Licenciatura en Cartografía

Tesina de Licenciatura

Elaboración de una Superficie Batimétrica de la Isla Decepción conforme al estándar S-102

Alumna: Técnica Universitaria en Cartografía Victoria Lucia Martínez

Directora: Licenciada en Cartografía Silvia Beatriz Chomik

Codirector: Licenciado en Cartografía Mario Lucas Caballero

Director de la Carrera: Licenciado en Cartografía Humberto Ángel Capecci

Noviembre - 2026

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi directora, Lic. Chomik, y a mi codirector, Capitán de Corbeta Lic. Caballero, por su valioso acompañamiento y por brindarme el respaldo académico necesario para la realización de esta tesis.

Extiendo mi gratitud al Servicio de Hidrografía Naval y a su personal, especialmente al Departamento de Hidrografía y al Departamento de Cartografía y Geomática por facilitarme el acceso a sus instalaciones y por compartir generosamente la información requerida para este trabajo.

Agradezco de manera especial a los profesores y al personal de la Escuela de Ciencias del Mar por haberme brindado la oportunidad de formarme profesionalmente como cartógrafa, contribuyendo de manera fundamental a mi desarrollo académico.

Finalmente, este trabajo no habría sido posible sin el apoyo constante de mis compañeros, amigos y familia, quienes me acompañaron en cada etapa de este proceso. A todos ellos, mi más profundo agradecimiento.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN 6

ABSTRACT 7

1. INTRODUCCIÓN 8

1.1 Objetivos 10

2. ÁREA DE ESTUDIO 12

2.1 Aspectos geográficos 12

2.2 Importancia 16

3. ESTÁNDARES S-57 Y S-100 18

3.1 Diferencias entre S-57 y S-101 19

3.1.1 Estándar S-57 20

3.1.2 Estándar S-101 22

3.1.3 Evolución y comparación 25

3.2 Productos S-100 26

4. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO S-102 31

4.1 Propósito y gestión 32

4.2 Catálogo de objetos 33

4.3 Estructura de datos y visualización 34

4.4 Dataset y Exchange Set 38

5. DATOS 39

5.1 Levantamientos batimétricos 43

5.1.1 Obtención de datos 43

5.1.2 Manejo de datos 47

5.2 Zonas de confianza de la OHI 49

6. METODOLOGÍA 52

6.1 Software BASE Editor 52

6.2 Flujo de trabajo 53

6.3 Elaboración de los productos S-102 54

6.4 Elaboración del DEM para impresión 3D 59

7. RESULTADOS Y VISUALIZACIÓN 63

8. CONCLUSIONES 75

BIBLIOGRAFÍA 77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa portulano del Mar Mediterráneo (1500-1600) 8

Figura 2.1: ENC AR407620 1era. Edición 12

Figura 2.2: Mapa de las Islas Shetland del Sur 13

Figura 2.3: Fotografía satelital de la Isla Decepción 14

Figura 2.4: Carta náutica H-762 o INT9120, 1era. Edición 2021 15

Figura 2.5: Base argentina Decepción 17

Figura 2.6: Base española Gabriel de Castilla 17

Figura 3.1: Estructura de una carpeta de intercambio S-100 24

Figura 4.1: ENC con una Superficie Batimétrica S-102 superpuesta 31

Figura 4.2: Estructura de una cuadrícula S-102 34

Figura 4.3: Diferencia de la cantidad de información que provee un producto S-102 en comparación con una carta náutica 35

Figura 4.4: Modos ráster de visualización de S-102 37

Figura 4.5: Modo vector de visualización de S-102 37

Figura 5.1: Diagrama de las ZOC que componen la ENC AR407620 1era. Ed 42

Figura 5.2: Esquema del cálculo de profundidad mediante una ecosonda 44

Figura 5.3: Diferencia de coberturas entre una ecosonda monohaz y una ecosonda multihaz 45

Figura 5.4: Cobertura según profundidad de la sonda multihaz SeaBeam 1185 46

Figura 5.5: Superposición de 50% entre pasadas consecutivas 46

Figura 5.6: Movimientos de un barco debido al oleaje 47

Figura 5.7: Referenciación de los datos levantados 49

Figura 6.1: Diagrama de flujo de trabajo sintético del procesamiento de datos crudos de una batimetría..... 53

Figura 6.2: Visualización 2D de una TIN de Puerto Foster..... 55

Figura 6.3: Herramienta de interpolación de TIN..... 56

Figura 6.4: Visualización 2D de una grilla de Puerto Foster..... 56

Figura 6.5: Herramienta de exportación de ráster a S-102..... 57

Figura 6.6: Exportaciones de los productos S-102 generados..... 57

Figura 6.7: Nube de puntos utilizados para el DEM..... 59

Figura 6.8: DEM compuesto por compilación de levantamientos..... 60

Figura 6.9: Parámetros para la exportación del archivo STL..... 61

Figura 6.10: Modelo cortado visualizado desde Blender..... 62

Figura 7.1: Visualización del producto 102AR001993HI584000 (Id 1)..... 63

Figura 7.2: Visualización del producto 102AR001993HI584010 (Id 2)..... 64

Figura 7.3: Visualización del producto 102AR001993HI584020 (Id 3)..... 64

Figura 7.4: Visualización del producto 102AR002006HI109900 (Id 4)..... 65

Figura 7.5: Visualización del producto 102AR002006HI109901 (Id 5)..... 65

Figura 7.6: Visualización del producto 102AR002007HI119400 (Id 6)..... 66

Figura 7.7: Visualización del producto 102AR00200800973100 (Id 7)..... 66

Figura 7.8: Visualización del producto 102AR00200800973101 (Id 8)..... 67

Figura 7.9: Visualización del producto 102AR002008HI123200 (Id 9)..... 67

Figura 7.10: Visualización del producto 102AR002008HI123201 (Id 10)..... 68

Figura 7.11: Visualización del producto 102AR00201007246000 (Id 11)..... 68

Figura 7.12: Visualización del producto 102AR002011HI134700 (Id 12)..... 69

Figura 7.13: Visualización del producto 102AR002012HI138300 (Id 13)..... 69

Figura 7.14: Visualización del producto 102AR002012HI138301 (Id 14)..... 70

Figura 7.15: Visualización del producto 102AR002012HI138302 (Id 15)..... 70

Figura 7.16: Visualización del producto 102AR002016HI143900 (Id 16)..... 71

Figura 7.17: Modelo 3D impreso 74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Propósitos de navegación en ENC S-57 21

Tabla 3.2: Comparación sintética entre los estándares S-57 y S-101. 25

Tabla 4.1: Atributos del objeto S-102 BathymetryCoverage 33

Tabla 4.2: Atributos del objeto S-102 QualityOfBathymetryCoverage 33

Tabla 5.1: Id, nombre de archivo CSAR y fechas de comienzo y fin de los 16 levantamientos. 39

Tabla 5.2: Id, zona y límite aproximado de los 16 levantamientos. 40

Tabla 5.3: Id, instrumento, orden, posicionamiento, escala y datum vertical de los 16 levantamientos. 41

Tabla 5.4: Características de las zonas de confianzas establecidas en la publicación S-67 (OHI, 2020) 50

Tabla 6.1: Especificaciones técnicas recomendadas por la empresa Teledyne CARIS para el BASE Editor 53

Tabla 6.2: Nombre y resolución utilizado para cada producto S-102. 58

Tabla 7.1: Síntesis de las características de los productos S-102 obtenidos. 72

RESUMEN

La presente tesina tiene como objetivo la elaboración de Superficies Batimétricas de la Isla Decepción conforme al estándar S-102 de la Organización Hidrográfica Internacional. Con este fin, se analizaron y procesaron 16 levantamientos batimétricos realizados por la Oficina Hidrográfica del Reino Unido en distintas zonas y fechas, utilizando el software CARIS BASE Editor.

El trabajo profundiza en los fundamentos de la cartografía náutica, la evolución de los estándares S-57 y S-100, y el funcionamiento técnico del producto S-102, el cual permite representar la batimetría de alta resolución en una cuadrícula regular.

A través de una metodología estructurada se obtuvieron 16 productos S-102 individuales que representan detalladamente el fondo marino de la Isla Decepción, mejorando significativamente la información batimétrica disponible en las cartas náuticas electrónicas tradicionales.

Esta tesina busca aportar al proceso de transición hacia los nuevos estándares internacionales y fortalecer la seguridad de la navegación en zonas de interés científico y estratégico.

ABSTRACT

The purpose of this project is to develop bathymetric surfaces for Deception Island in accordance with the International Hydrographic Organization's S-102 standard. To this end, 16 bathymetric surveys conducted by the United Kingdom Hydrographic Office in different areas and on different dates were analyzed and processed using CARIS BASE Editor software.

The work delves into the fundamentals of nautical cartography, the evolution of the S-57 and S-100 standards, and the technical operation of the S-102 product, which allows high-resolution bathymetry to be represented on a regular grid.

Using a structured methodology, 16 individual S-102 products were obtained that provide detailed representations of the seabed of Deception Island, significantly improving the bathymetric information available on traditional electronic nautical charts.

This project seeks to contribute to the transition to new international standards and strengthen navigation safety in areas of scientific and strategic interest.

1. INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad, el ser humano ha navegado y ha deseado comprender y dominar su entorno. Este impulso no solo se debe a una curiosidad intelectual, sino también a razones comerciales, militares y administrativas (Puertas Mosquera, 2010).

Posterior a las cartas náuticas, los marinos navegaban guiándose por anotaciones y documentaciones de trayectos y distancias estimados según las direcciones de la brújula, utilizando comentarios sobre las ventajas y riesgos náuticos de ciertos lugares. Entrado el siglo XIII, el renacimiento del comercio marítimo en el Mar Mediterráneo facilitó la recopilación de una gran cantidad de información geográfica sobre la región (Secretaría de Cultura de España, s.f.). Este acontecimiento permitió la representación gráfica de toda esa información textual recopilada, lo que llevó a la creación de las primeras cartas náuticas, antiguamente llamados mapas portulanos (Figura1.1).



Figura 1.1: Mapa portulano del Mar Mediterráneo (1500-1600). Fuente: Biblioteca Digital Hispánica (s.f.).

Los mapas portulanos surgieron de la experiencia práctica. Inicialmente, fueron creados exclusivamente por cartógrafos italianos y mallorquines, y posteriormente también por portugueses y profesionales de otras nacionalidades (Giménez Soler, 1991). Como se observa en la figura 1.1, los mapas portulanos son muy diferentes a las cartas náuticas que conocemos en la actualidad. Poseían un aspecto más rústico y artístico, estando limitados por el estado del arte del momento.

Desde entonces, los mapas portulanos fueron evolucionando a la par con la tecnología incluyendo accidentes geográficos, peligros marítimos, la calidad del fondo marino, corrientes, puntos de referencia y balizamiento, facilitando y haciendo más segura la navegación (Antolino Ibáñez, 2015).

Actualmente, las cartas náuticas se encuentran regularizadas según los estándares de la Organización Hidrográfica Internacional (OHI). Esta es una organización intergubernamental que desde 1921 trabaja para garantizar que todos los mares, océanos y aguas navegables del mundo sean estudiados y cartografiados. Coordina las actividades de los servicios hidrográficos nacionales y fomenta la uniformidad en las cartas y documentos náuticos. Promueve mejores prácticas en levantamientos, proporciona directrices para optimizar el uso de los datos hidrográficos y desarrolla capacidades hidrográficas en los estados miembros (OHI, s.f.).

Desde 1972 hasta la actualidad, según la ley hidrográfica Nro. 19.922, el Servicio de Hidrografía Naval (SHN), dependiente del Ministerio de Defensa, es el organismo oficial encargado de brindar seguridad a la navegación en la República Argentina. El SHN es estado miembro de la OHI desde su origen en 1921. Se unió con anterioridad a que se sancionara la ley hidrográfica y se denominara con su nombre actual, bajo la nominación de “Oficina Central de Hidrografía” (OHI, 2024a).

En la actualidad, gracias a la evolución de la tecnología, el SHN es capaz de proveer a los navegantes uno de los más recientes instrumentos para la navegación: la carta náutica electrónica (ENC, Electronic Navigational Chart), basada en el estándar de transferencia de datos hidrográficos de la OHI, S-57. Este estándar fue designado como oficial en la XIV Conferencia Hidrográfica llevada a cabo en Mónaco, en mayo de 1992 (Losada, 2017).

Sin embargo, el avance tecnológico nunca se detiene y, si bien se realizaron actualizaciones desde el lanzamiento del estándar, hoy en día resulta limitado y poco flexible en comparación con las nuevas innovaciones tecnológicas. Por lo que el 1 de enero del 2010 la OHI estableció el Modelo Universal de Datos Hidrográficos S-100 como estándar internacional activo, aprobándose de esta forma el marco tecnológico para una nueva generación de productos hidrográficos. En este contexto, la transición desde S-57 se materializa principalmente a través de la especificación de producto

ENC S-101, desarrollada sobre el modelo S-100 y destinada a reemplazar gradualmente las cartas electrónicas de navegación basadas en S-57.

El estándar S-100 ha sido diseñado para cumplir con las necesidades de la nueva generación de ENC S-101 y abarca una amplia gama de nuevos productos de datos hidrográficos digitales, incluyendo batimetría de alta densidad, corrientes, mareas, información sobre hielos y datos meteorológicos (Escudero, 2018).

En la planificación definida por la OHI, la entrada en vigor de las especificaciones prioritarias del ecosistema S-100, entre ellas ENC S-101 y Superficies Batimétricas S-102, se estableció a partir del 1 de enero de 2026. No obstante, la adopción de este nuevo marco se desarrolla de manera progresiva, previéndose un período de coexistencia entre los productos basados en S-57 y aquellos desarrollados bajo S-100.

Uno de los productos del estándar S-100 es la Superficie Batimétrica (S-102). Este producto tiene como objetivo ofrecer un modelo batimétrico de alta resolución del fondo marino, el cual puede superponerse con los datos de una ENC, proporcionando detalles más precisos de la batimetría en comparación con los sondajes seleccionados y las isobatas de una carta náutica típica (OHI, 2024b).

La utilidad de este producto es especialmente significativa en áreas de navegación compleja, como Puerto Foster, en la isla Decepción, donde las características costeras y batimétricas condicionan el acceso y la circulación de las embarcaciones. La representación continua y detallada del fondo marino proporcionada por el S-102 permite complementar la información de la carta náutica y mejorar el conocimiento del entorno durante la planificación y el desarrollo de la navegación.

1.1 Objetivos

El objetivo general de esta tesina es la elaboración de Superficies Batimétricas conforme al estándar S-102, establecido por la OHI, a partir de levantamientos batimétricos realizados en la Isla Decepción.

Objetivos específicos:

- Analizar características e importancia de la Isla Decepción.

- Especificar las diferencias entre los estándares S-57 y S-101.

- Desarrollar algunas utilidades de los productos S-100.

- Explicar la metodología detrás de la obtención, el procesamiento y el manejo de datos de las Superficies Batimétricas generadas.

- Visualizar los productos S-102 con un producto ENC S-57 como base y analizar su calidad.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio del presente trabajo tiene como zona central la Isla Decepción. Sin embargo, la tesina también comprende la región circundante, ya que las 16 superficies batimétricas elaboradas se distribuyen en distintos sectores de la Antártida. La extensión total de los levantamientos utilizados abarca un área comprendida aproximadamente entre los paralelos 60° 26' 36" S y 67° 38' 3,37" S, y entre los meridianos 44° 45' 32" W y 71° 24' 31" W.

Por otro lado, específicamente para la Isla Decepción, se elaboró un Modelo Digital de Elevaciones, posteriormente impreso en 3D, utilizando la información batimétrica de la ENC AR407620 “Isla Decepción”, cuya cobertura se extiende desde el paralelo 62° 50' 00" S hasta el 63° 06' 00" S, y desde el meridiano 60° 21' 00" W hasta el 61° 01' 00" W (Figura 2.1).

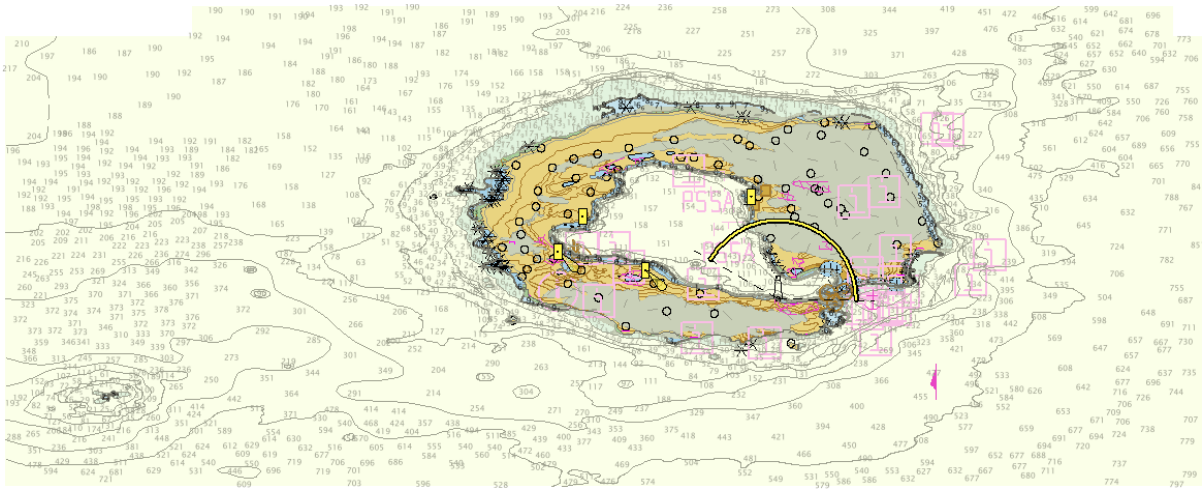


Figura 2.1: ENC AR407620 1era. Edición. Fuente: SHN.

2.1 Aspectos geográficos

La Isla Decepción pertenece al archipiélago de las Islas Shetland del Sur, encontrándose a unos 100 km de la Península Antártica y 950 km del extremo sur del Cabo de Hornos, sobre el Mar de la Flota (figura 2.2).

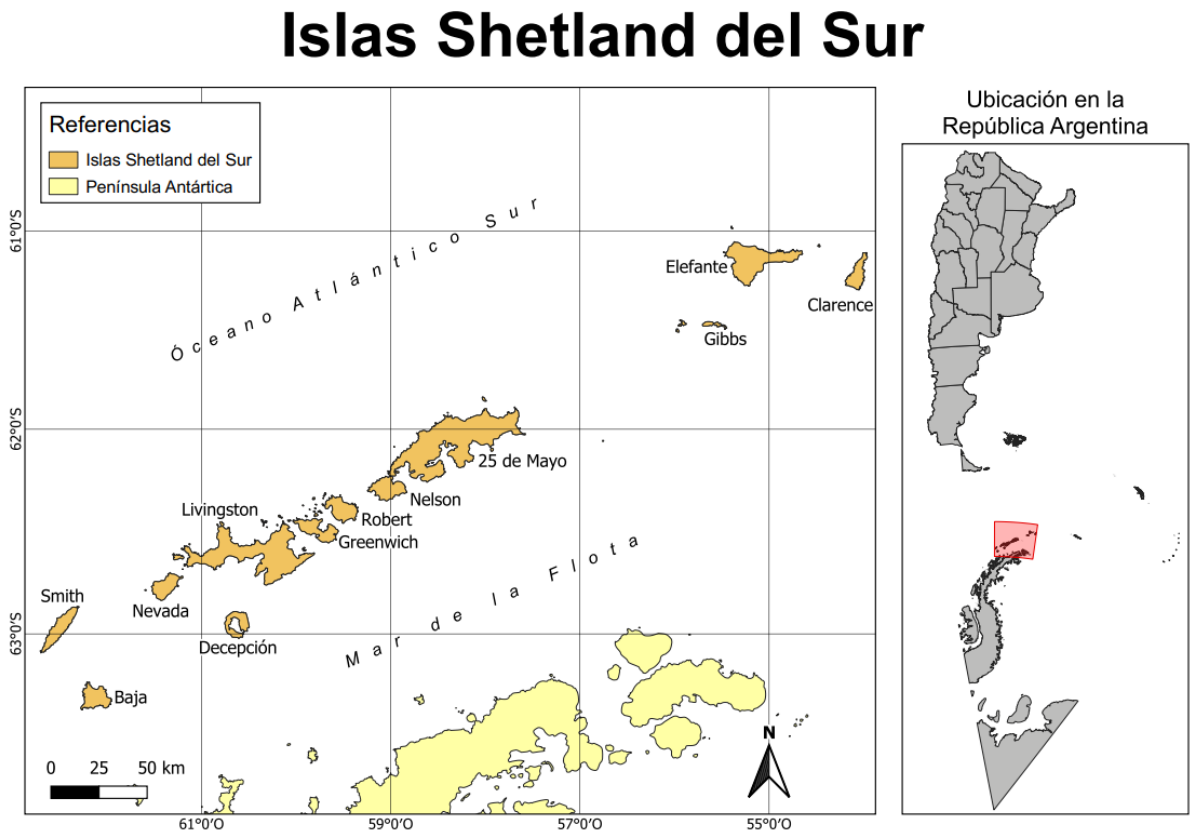


Figura 2.2: Mapa de las Islas Shetland del Sur. Fuente: Elaboración propia.

Posee una característica forma anular, como se puede observar en la fotografía satelital de la figura 2.3, debido a la presencia de un gran volcán en escudo de aproximadamente 750.000 años de antigüedad, cuyo contorno tiene forma de herradura y está formado por una caldera de unos 14 km de diámetro (SEGEMAR, s.f.).

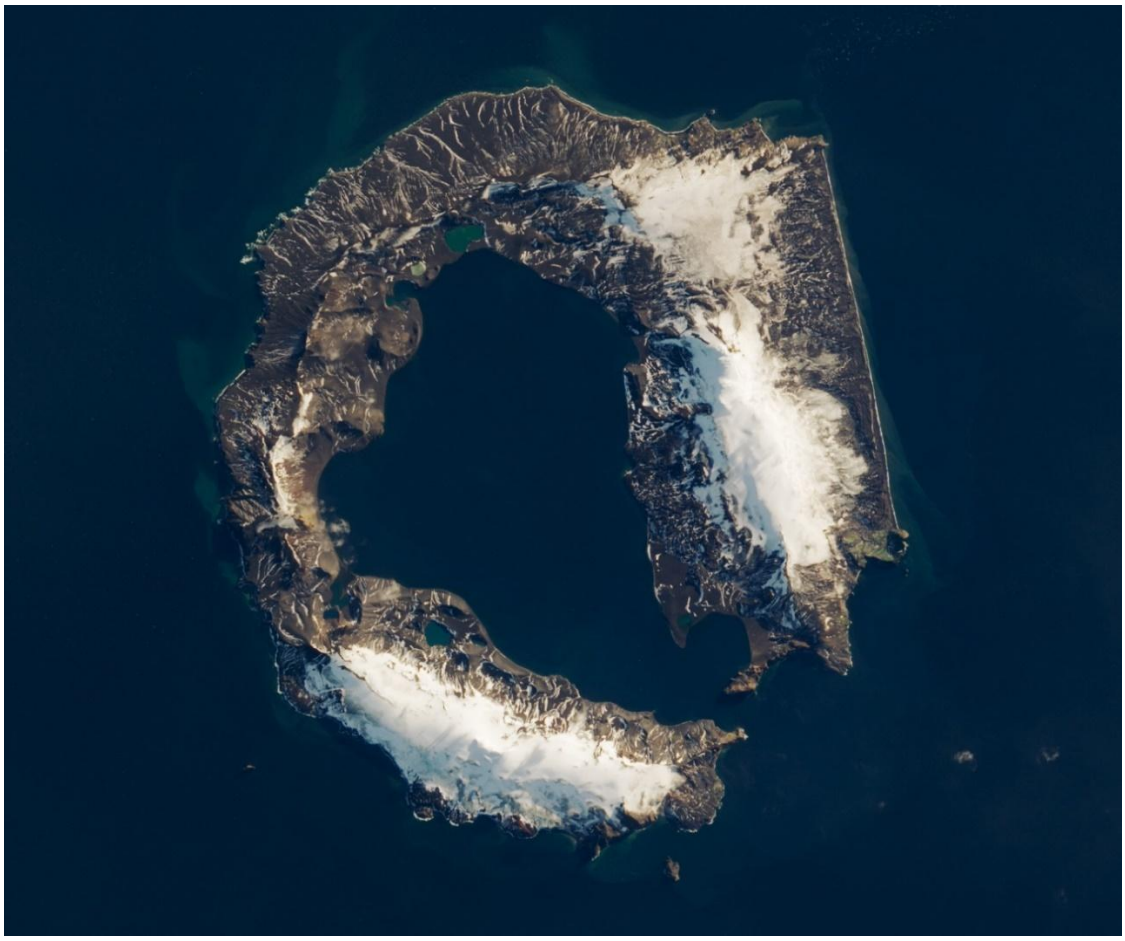


Figura 2.3: Fotografía satelital de la Isla Decepción. Fuente: Visible Earth NASA (2017).

La altura media de la isla es de 300 m, con una elevación máxima de 539 m en el Monte Campbell. Encierra en su interior una laguna de forma elíptica denominada Puerto Foster, un cráter con una estrecha abertura hacia el SE (SHN, 2021).

Como se observa en la carta náutica H-762 o INT9120 “Islas Shetland del Sur, Isla Decepción”, que se muestra en la figura 2.4, la única entrada al Puerto Foster es por los Fuelles de Neptuno. Esto es debido a que Puerto Foster es una masa de agua casi totalmente encerrada sobre la caldera del volcán que recibe una gran cantidad de agua dulce durante el deshielo. El nombre "Fuelles de Neptuno" hace referencia a las intensas corrientes de viento que se generan en la zona. Al este de los fuelles se encuentra Caleta Balleneros y al oeste se encuentra Bahía 1° de Mayo.

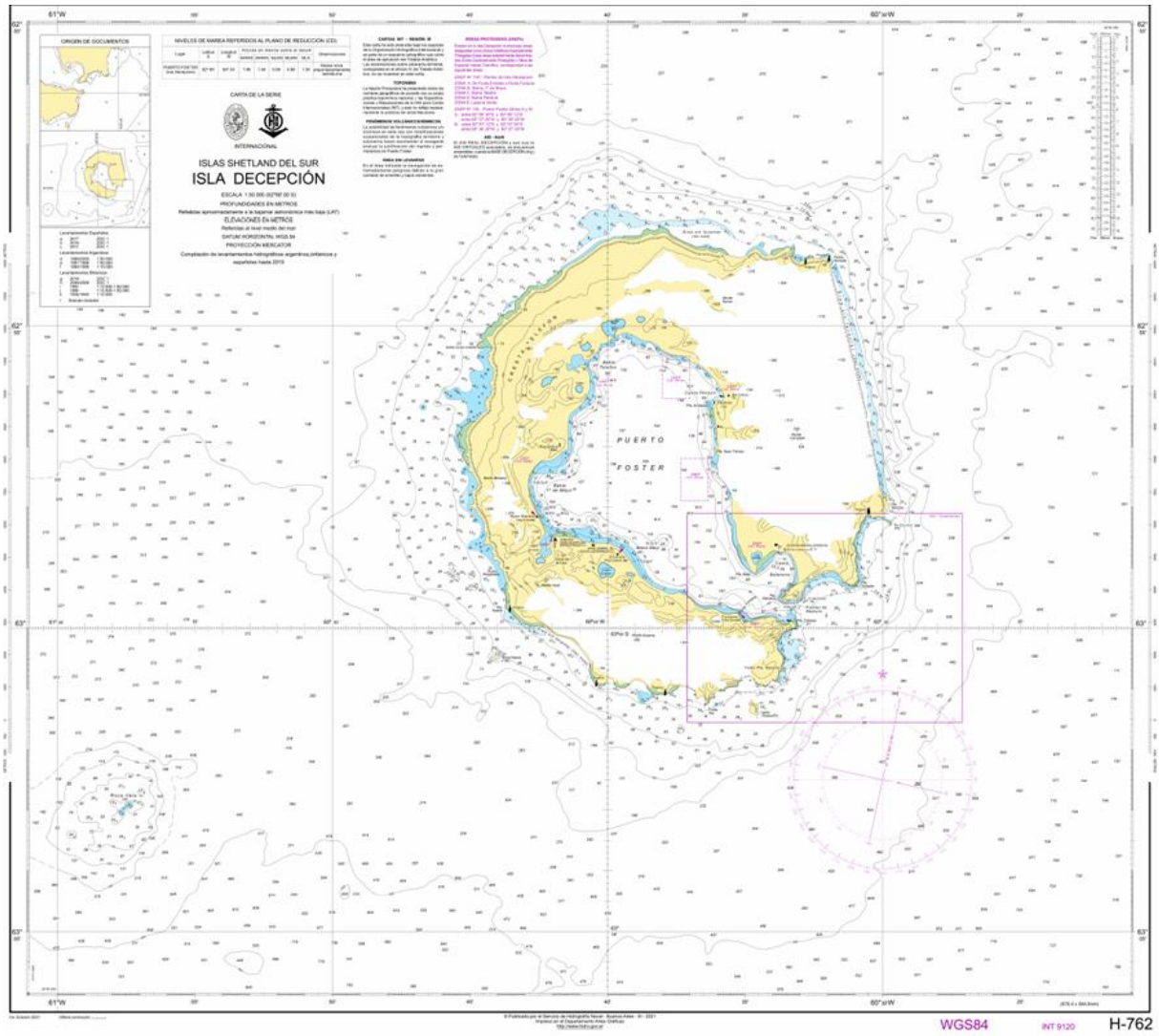


Figura 2.4: Carta náutica H-762 o INT9120, 1era. Edición 2021. Fuente: SHN.

La hidrografía de Puerto Foster presenta características particulares debido a la interacción de varios factores geográficos y geotérmicos. Las temperaturas de su fondo son comparables a las que se registran en el Mar de la Flota, oscilando entre -1,4ºC y 2,0ºC. Sin embargo, en las zonas de la bahía que están próximas a las fumarolas volcánicas, estas temperaturas pueden aumentar de manera notable, llegando a alcanzar hasta los 7,5ºC. Por otro lado, la salinidad en Puerto Foster también presenta variaciones, situándose en un rango de entre 33,9‰ y 34,2‰. En ciertas áreas estos valores pueden disminuir ligeramente; esto se asocia al derretimiento de los glaciares cercanos que introduce agua dulce en el sistema. El pH del agua en Puerto Foster se encuentra entre 6,6 y 6,8 reflejando la influencia de la actividad volcánica de la isla.

En síntesis, la presencia de actividad geotermal, combinada con influencias glaciales, genera un entorno único en términos de temperatura, salinidad y pH.

2.2 Importancia

Debido a que es una isla antártica única en su género, con importantes valores naturales, científicos, históricos, educacionales, estéticos y de fauna y flora, en el año 2005 se la designó como Zona Antártica Especialmente Administrada n°4 (ZAEA). La propuesta fue realizada por Argentina, Chile, Noruega, España, Reino Unido y Estados Unidos. Esta ZAEA se encuentra delimitada por la costa exterior de la isla sobre el nivel de la bajamar, comprendiendo las aguas y el lecho marino de Puerto Foster. El propósito de su designación es conservar y proteger el entorno singular de la isla, manejando al mismo tiempo las diversas exigencias que compiten entre sí, entre ellas la actividad científica y turística y la conservación de los valores naturales e históricos de la isla. También procura salvaguardar a las personas que visitan la isla o que trabajan en ella (Secretaría del tratado antártico, 2005).

La isla cuenta con dos Zonas Antárticas Especialmente Protegidas (ZAEP) designadas, la ZAEP n°140 que comprende 11 sitios terrestres, y la ZAEP n°145, que comprende 2 sitios marinos en Puerto Foster debido a sus importancias botánicas y ecológicas. También tiene designados dos Sitios y Monumentos Históricos (SMH): el SMH n°71 en Caleta Balleneros, donde se encuentran los restos de la estación ballenera Hektor, el cementerio de balleneros y restos de la Base B (1944-1969) de Reino Unido, y el SMH n°76 en Caleta Péndulo, donde se encuentran los restos de la Base Pedro Aguirre Cerda (1955-1967) de Chile (Secretaría del Tratado Antártico, 2019).

Actualmente se encuentran dos bases temporales en la isla, la base argentina Decepción (figura 2.5), desde 1948, y la base española Gabriel de Castilla (figura 2.6), desde 1989. Estas son operativas durante el verano, realizando actividades de investigación científica, principalmente relacionadas con la actividad volcánica.



Figura 2.5: Base argentina Decepción. Fuente: SEGEMAR (s.f.).



Figura 2.6: Base española Gabriel de Castilla. Fuente: Ministerio de Defensa de España (s.f.).

3. ESTÁNDARES S-57 Y S-100

En este capítulo se explican las diferencias entre los estándares S-57 y S-100, se desarrolla el funcionamiento, utilización, desventajas y beneficios de cada uno, luego se profundiza sobre las utilidades de los productos S-100. Para poder empezar a comprenderlos, primero hay que entender los conceptos fundamentales de los pilares que componen a la cartografía náutica actual, tanto en la utilización de los usuarios finales como en su proceso de producción.

Las cartas náuticas son representaciones gráficas a escala de las aguas navegables con sus regiones terrestres adyacentes, por lo que contienen información específicamente destinada a satisfacer requerimientos de navegación marítima, priorizando su seguridad. Por esto mismo, es fundamental e imprescindible que contengan sondajes, características de la costa, peligros (como rocas y obstrucciones), ayudas a la navegación, naturalezas del fondo, elevaciones, declinación magnética y variación anual (OHI, 1996).

La carta de navegación electrónica (ENC) es un set de datos vectoriales basado en un Sistema de Información Geográfica (SIG); ésta es elaborada bajo especificaciones de estándares de la OHI que la unifican internacionalmente. Su propósito es ubicar la posición geográfica de un buque vía un Sistema de Posicionamiento Global (GPS, Global Positioning System) para poder brindarle la mayor seguridad a su navegación posible, conteniendo todos los elementos relevantes de la cartografía necesarios ya mencionados.

Su base, el SIG, es un sistema de información diseñado para capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos espaciales y alfanuméricos. Los datos espaciales se refieren a la ubicación y forma de objetos en el mundo real, mientras que los datos alfanuméricos se refieren a información descriptiva sobre estos objetos, como su nombre, tipo, área, etc. Los SIG representan el mundo real de una manera digital utilizando entidades y atributos. Las entidades son objetos o conceptos del mundo real que se representan mediante geometrías primitivas de punto, línea o polígono, mientras que los atributos son las características o propiedades que describen a las entidades. Las entidades se representan en capas de datos, y cada capa de datos contiene información sobre un tipo específico de entidad. Los atributos

son almacenados en una tabla de atributos asociada con cada capa de datos (Olaya, 2016).

La OHI es la encargada de unificar criterios y establecer especificaciones, diseñando estándares internacionales para la estructura de las entidades y atributos en las ENC en base a la exigencia que requiere la seguridad para la navegación.

Las ENC son utilizadas por los usuarios en los buques mediante su visualización en un Sistema de Información y Visualización de la Carta Electrónica (ECDIS, Electronic Chart Display and Information System) que permite elegir la presentación de entidades y atributos, proporcionando al usuario control sobre la cantidad de información que se visualiza, así como también provee la opción de establecer alarmas, avisos e indicaciones automáticas, conectando el ECDIS con otros sistemas a bordo (OHI, 2017).

3.1 Diferencias entre S-57 y S-101

La transformación de la información de las cartas náuticas de un formato papel a un formato digital como la ENC, marcó el primer proyecto de estandarización digital de la OHI en la década de 1990. Este cambio fue crucial para la seguridad de la navegación, ya que en 2012 la Organización Marítima Internacional (OMI) adoptó el requisito de llevar a bordo las ENC, convirtiéndolas en uno de los sistemas de información clave en la navegación.

El diseño técnico de las ENC primero fue definido por los estándares de la OHI S-57 (Estándar de Transferencia para Datos Hidrográficos Digitales) y S-52 (Especificaciones Sobre Contenido Cartográfico y Aspectos de Presentación de ECDIS). Con el transcurso del tiempo y el avance de la tecnología, surgió la necesidad de evolucionar estos estándares para seguir cumpliendo con los requisitos del SOLAS (Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar o, en inglés International Convention for the Safety of Life at Sea) y apoyar la implementación de la e-navigation o navegación electrónica, que es el uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para mejorar la seguridad, eficiencia y el desempeño ambiental de la navegación marítima (OMI, s.f.).

En respuesta a estos avances, la OHI adoptó el Modelo Universal de Datos Hidrográficos S-100, comenzando a desarrollar un marco estándar versátil compuesto

por especificaciones de productos basadas en S-100. Este modelo describe aspectos específicos del mundo real y ofrece la ventaja de conjuntos de datos compatibles e interoperables. Esto permite una multitud de posibles combinaciones de la información geoespacial codificada, sin importar a qué campo científico pertenezcan (Sinapi, 2022).

Es complejo comparar el estándar S-57 con el S-100 debido a que el primero es un producto mientras que el segundo es un conjunto de productos y especificaciones. Por esto, a continuación, se detallan los estándares S-57 y S-101 (producto base de los S-100) ya que ambos corresponden a la Carta de Navegación Electrónica. Se destacan sus características, diferencias y la evolución de uno a otro, para entender cómo han contribuido a la mejora de la seguridad para la navegación y la gestión de la información geoespacial marina.

3.1.1 Estándar S-57

- Objetos y atributos

El Estándar de Transferencia para Datos Hidrográficos Digitales (S-57), como se mencionó anteriormente, está basado en un sistema de información geográfica. Es un modelo de datos en el que se establecen las especificaciones y normas que deben cumplir las entidades con sus atributos correspondientes. Estas entidades, que son capas de datos que representan objetos de la vida real como balizas, luces, naufragios, etc., se denominan Objetos S-57 los cuales se identifican con un acrónimo de 6 letras que, según el objeto, puede ser representado por una o más de una geometría primitiva.

Los Objetos S-57 cuentan con una lista de atributos específica que permite describir y caracterizarlo con mayor precisión, asignándole los valores correspondientes a cada atributo. Por ejemplo, si existe una boya lateral roja, el objeto S-57 que la representaría es BOYLAT (boya lateral) y su atributo COLOUR (color) sería completado con red/rojo. La lista de objetos y atributos se puede encontrar en el Catálogo de Objetos S-57 (s.f.) disponible en internet.

- Difusión y actualización para usuarios

La nomenclatura individual que identifica a cada celda o data set S-57 debe seguir el siguiente formato:

CCPØØØØØ.EEE

Donde “CC” es el código del país productor, los códigos se encuentran asignados en la publicación S-62 (en el caso de Argentina su código es AR), “P” es el propósito de la ENC que se determina según su escala (tabla 3.1), “ØØØØØ” es el código individual de la celda, puede contener números o letras y “EEE” es el número de actualizaciones que contiene (Ejemplo: 000 significa que no tiene ninguna actualización, 007 significa que contiene 7 actualizaciones).

Propósito	Utilización	Escala
1	Overview/General: Se utilizan para navegación oceánica	<1:1499999
2	General/Arrumbamiento: Para navegación en demanda de un continente o isla.	1:350000 – 1:1499999
3	Coastal/Costera: Para la navegación a lo largo de una costa.	1:90000 - 1:349999
4	Approach/Aproximación: Para aproximación a un puerto.	1:22000 – 1:89999
5	Harbour/Portuaria: Para entrar a un puerto y navegación por su dársena interior.	1:4000 – 1:21999
6	Berthing/Amarre: Son de escala muy grande y es apropiada para auxiliar en el amarre en baja visibilidad.	>1:4000

Tabla 3.1: Propósitos de navegación en ENC S-57.

El set o carpeta de intercambio (exchange set) se crea una vez que la ENC está terminada. Luego de haber cumplido con las validaciones del estándar S-58 (Controles de Validación para la ENC), se exporta, creándose una carpeta en la que se encuentra la carta encriptada lista para su difusión a los usuarios, compuesta principalmente por una carpeta llamada ENC_ROOT que contiene la celda ENC con sus actualizaciones y un archivo “CATALOG” con toda la información sobre los archivos. También puede llegar a contener un archivo “README.TXT” y archivos de texto o de imagen.

Los usuarios pueden adquirir las ENC S-57 y sus actualizaciones mediante las mismas oficinas hidrográficas, distribuidores independientes oficiales o Centros de

Coordinación de Distribución de ENC (RENC, Regional ENC Coordinating Center), que, además de distribuirlas, se encargan de validarlas para corroborar que no tengan errores y cumplan con las validaciones del S-58. En el caso de Argentina, utiliza el último método de distribución mencionado mediante el IC-ENC (Centro Internacional de Cartas Náuticas Electrónicas).

3.1.2 Estándar S-101

- Objetos y atributos

Los objetos en S-101 “Carta de Navegación Electrónica” no se identifican con un acrónimo de 6 letras, sino que se identifican con su nombre completo escrito en inglés sin espacios y con la primera letra de cada palabra en mayúscula, exceptuando la primera si es que es un atributo. Específicamente, como lo indica la publicación Modelo Universal de Datos Hidrográficos S-100 en los siguientes puntos (OHI, 2024c).

1- Deben ser palabras compuestas en las que las palabras se unan sin espacios y se capitalicen dentro del compuesto.
2- El identificador debe ser único dentro del Registro.
3- Deben conformarse según la codificación de caracteres UTF-8 (ISO/IEC 10646) con caracteres en mayúsculas A-Z, caracteres en minúsculas a-z y números 0-9.
4- Los atributos deben comenzar con letras minúsculas a-z.

Por ejemplo, el objeto de baliza cardinal (BCNCAR en S-57) se identifica como CardinalBeacon y su atributo de forma de baliza como beaconShape.

Otro gran cambio es el de la creación de atributos complejos y sub-atributos. En las ENC S-101 existen 3 tipos de atributos:

1- Atributos Simples: Existentes en S-57. Son directamente modificables. Pueden ser obligatorios o no. Nunca pueden contener más atributos.

2- Atributos Complejos: Contiene dos o más sub-atributos. No son directamente modificables. Pueden ser obligatorios o no. Pueden contener más atributos complejos.

3- Sub-atributos: Solo se pueden encontrar dentro de Atributos Complejos. Son directamente modificables. Pueden ser obligatorios o no. Nunca pueden contener más atributos.

Todo lo anteriormente mencionado se encuentra en el nuevo “Catálogo de Objetos” construido en base a un registro capaz de definir el contenido de los datos y legible por máquinas como los ECDIS, haciéndolo actualizable y más dinámico que el anterior. Se llama Registro de Información Geoespacial de la OHI (IHO Geospatial Information Registry) y se encuentra disponible en internet (OHI, 2024d).

-Difusión y actualización para usuarios

El formato para identificar las ENC S-101 es el siguiente:

101CCCCØØØØØØØØØØ.EEE

Donde “101” es obligatorio para identificarlo como un dataset S-101, “CCCC” es el nuevo código que identifica al país u organización productora que se encuentra en el Registro de Códigos de Productores S-65 (Argentina tiene asignado el código “AR00”), “ØØØØØØØØØØ” es el código individual de la celda que puede contener letras, números o guion bajo, “EEE” es la cantidad de actualizaciones que contiene.

En el caso de S-101 el data set exportado, validado y encriptado se va a encontrar dentro de una carpeta de intercambio o exchange set S-100 denominada S-100_ROOT. Esta carpeta contiene dentro de sí los archivos CATALOG.XML y CATALOG.SIGN. y las carpetas de los productos S-100 que posea, conteniendo los datasets, catálogos y archivos de soporte, como se puede observar en el ejemplo de la figura 3.1.

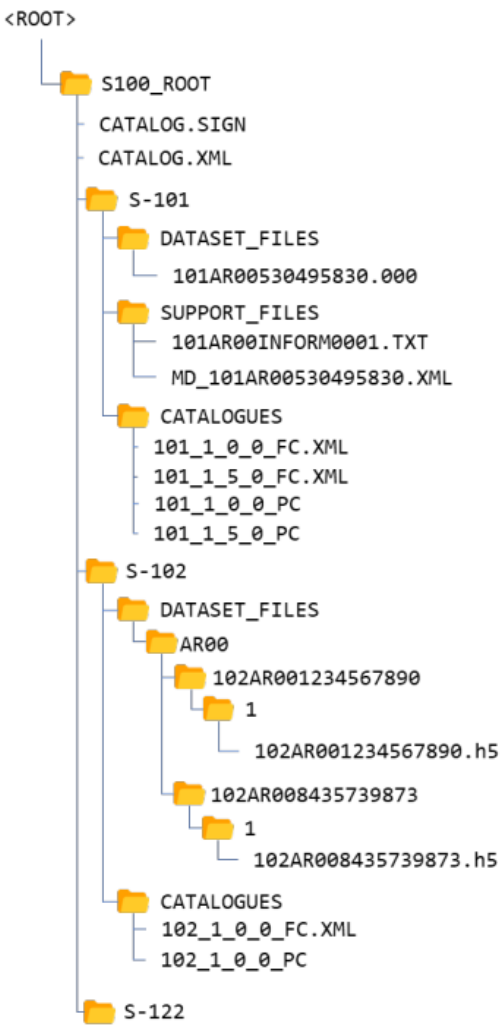


Figura 3.1: Estructura de una carpeta de intercambio S-100. Fuente: OHI (2024c).

Uno de los cambios más innovadores en el estándar S-100 es el concepto de “Plug and Play” (su traducción al español sería “Conecta y Reproduce”) que permite agregar nuevas funcionalidades sin requerir una actualización del sistema.

La distribución de las ENC S-101 es la misma, con la diferencia de que el ECDIS tiene la capacidad de acceder al registro de información geoespacial y a las modificaciones que se le produzcan si la necesidad de tener que actualizarlo, haciendo tanto la producción como la utilización de las ENC más flexible y duradera. También permite que la ENC S-101 interactúe inteligentemente con otros productos S-100, como, por ejemplo, el S-102 “superficie batimétrica” o el S-111 “corrientes superficiales”.

3.1.3 Evolución y comparación

Al haber profundizado en los estándares, se logró evidenciar la significativa evolución del S-101 en comparación con el S-57. La tabla 3.2 presenta una comparación sintética de sus características y diferencias más relevantes.

Aspecto	S-57	S-101
Marco normativo	Estándar de transferencia de datos hidrográficos digitales.	Especificación de producto ENC basada en S-100.
Objetos	Acrónimos de seis letras, por ejemplo BOYLAT.	Nombres completos en inglés, por ejemplo LateralBuoy.
Atributos	Atributos simples identificados mediante acrónimos.	Atributos simples, complejos y subatributos, con nombres descriptivos.
Catálogo	Catálogo de Objetos S-57, de estructura más rígida.	Catálogo legible por máquinas y vinculado al Registro Geoespacial de la OHI.
Nombre del dataset	CCPØØØØØ.EEE	101CCCCØØØØØØØØØØ.EEE
Actualizaciones	Archivo base .000 y actualizaciones .001, .002, etc.	Datasets de actualización identificados secuencialmente mediante EEE.
Carpeta de intercambio	ENC_ROOT y archivo CATALOG.	S-100_ROOT, CATALOG.XML y CATALOG.SIGN.
Tamaño máximo	5 MB por dataset.	10MB por dataset.
Interoperabilidad	Orientado principalmente a la ENC como producto individual.	Permite interactuar con otros productos S-100, como S-102 y S-111.
Flexibilidad	Modelo menos flexible para incorporar nuevos contenidos.	Modelo extensible, actualizable y basado en el concepto Plug and Play.

Tabla 3.2: Comparación sintética entre los estándares S-57 y S-101.

El estándar S-57 ha logrado mucho éxito y ha cumplido su propósito por más de 30 años, sin embargo, se pueden identificar las siguientes desventajas:

- Fue creado específicamente para usarse en ECDIS.

- No cumple con las expectativas actuales de las tecnologías SIG y de navegación electrónica.

- Los archivos están limitados a 5MB y solo se pueden actualizar manualmente.

- Es incapaz de soportar actualizaciones en tiempo real, limitándose a actualizaciones periódicas de cambios geoespaciales.

- Es incapaz de comunicarse con otras capas de datos.

El avance de las nuevas tecnologías ha evidenciado al estándar S-57 como inflexible y sin posibilidades de desarrollar mejoras, surgiendo en la cartografía náutica la necesidad de desarrollar un nuevo estándar que aproveche estas innovaciones tecnológicas y que utilice la experiencia adquirida por el S-57 para asegurar su relevancia y sostenibilidad en el tiempo (Powell, 2011).

Así es como nacen las bases del estándar S-100, que, gracias a la experiencia y tecnología ofrece las siguientes ventajas:

- Mejora la seguridad de la navegación permitiendo actualizaciones en tiempo real de datos como el clima, las corrientes de superficie y el Sistema de Identificación Automática (AIS) a través de servicios de transmisión de datos.

- Introduce actualizaciones “plug and play” y está preparado para futuras mejoras en software y hardware.

- Los archivos pueden pesar hasta 10MB (el doble de lo que podían pesar anteriormente).

- Ofrece datos tridimensionales que varían en el tiempo, proporcionando una mayor comprensión del entorno que rodea al navegante.

- Proporciona las herramientas para desarrollar y mantener datos, productos y registros relacionados con la hidrografía.

- Diseñado y optimizado para tener una larga durabilidad.

3.2 Productos S-100

El estándar S-100 no se encuentra terminado. En el momento de la publicación de este trabajo, está compuesto por las siguientes publicaciones hidrográficas.

<u>-Documentos generales:</u>

S-97 Directrices para la creación de especificaciones de productos S-100 (Guidelines for Creating S-100 Product Specifications)

S-98 Interoperabilidad de productos de datos en sistemas de navegación S-100 (Data Product Interoperability in S-100 Navigational Systems)

S-99 Procedimientos operativos para la organización y gestión del registro de IG de la OHI (Operational Procedures for the Organization and Management of the IHO GI registry)

S-100 Modelo de datos hidrográficos universal de la OHI (IHO Universal Hydrographic Data Model)

-Productos S-1XX de la OHI:

S-101 Carta Náutica Electrónica (Electronic Navigational Chart)

S-102 Superficie Batimetría (Bathymetric Surface)

S-104 Información de Nivel de Agua para Navegación en Superficie (Water Level Information for Surface Navigation)

S-111 Corrientes Superficiales (Surface Currents)

S-121 Límites y Fronteras Marítimos (Maritime Limits and Boundaries)

S-122 Áreas Marinas Protegidas (Marine Protected Areas)

S-123 Servicios de Radio Marítimos (Marine Radio Services)

S-124 Advertencias de Navegación (Navigational Warnings)

S-125 Ayudas Marítimas a la Navegación (Marine Aids to Navigation)

S-126 Medio Físico Marino (Marine Physical Environment)

S-127 Gestión del Tráfico Marítimo (Marine Traffic Management)

S-128 Catálogo de Productos Náuticos (Catalogue of Nautical Products)

S-129 Gestión de Espacio Libre Bajo la Quilla (Under Keel Clearance Management)

S-130 Demarcaciones Poligonales de Áreas Marinas Globales (Polygonal Demarcations of Global Sea Areas)

S-131 Infraestructura Portuaria Marina (Marine Harbour Infrastructure)

S-164 Conjuntos de Datos de Prueba OHI para ECDIS S-100 (IHO Test Data Sets for S-100 ECDIS)

Existen más especificaciones de productos, pero pertenecen a otras organizaciones o cumplen con otros propósitos. Por ejemplo, las publicaciones S-2XX son de IALA (Asociación Internacional de Señalización Marítima o en inglés International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities). Las publicaciones S-401 y S-402 son específicas para Inland ENC (ENC de aguas navegables que se encuentran tierra adentro, como ríos). Las publicaciones S-411 a S-414 son de WMO (Organización Meteorológica Mundial o en inglés World Meteorological Organization). Las publicaciones S-421 a S-430 de la Comisión Internacional Electrotécnica que trata sobre planes de ruta y los equipos y sistemas de radiocomunicaciones utilizados.

Anteriormente se abordó el desarrollo del producto S-101, en el siguiente capítulo se presentará en detalle el producto S-102, el cual constituye el eje central de esta tesina. A modo de contexto, a continuación se describen algunas de las aplicaciones de los productos S-104, S-111 y S-129.

• S-104 Información de Nivel de Agua para Navegación en Superficie

Este producto estandariza una representación precisa y consistente de los niveles de marea para aportar mayor seguridad a la navegación. Establece un formato común para compartir datos de marea en los ECDIS incorporando datos en tiempo real, predicciones y pronósticos, permitiendo una mayor precisión para determinar la profundidad del agua bajo la quilla de un buque.

Según el estándar S-104 de la OHI (2023a), el producto utiliza datos tanto puntuales (como un símbolo, un texto o un gráfico de tabla de mareas) como datos en cuadrícula (grided) para mejorar la visualización y comprensión de la información, que pueden ser datos en tiempo real (información actualizada, pero no permite planificar con antelación), datos predichos (para planificación a corto plazo) y datos pronosticados (para planificación a largo plazo, pero menos precisos). Facilitando a los navegantes la planificación de sus rutas, proporcionando la información necesaria para sus decisiones, contribuyendo a la reducción de posibles encallamientos y accidentes marítimos.

Las alturas de las mareas, las corrientes de marea, los niveles de agua y las corrientes superficiales se calculan en un único modelo coherente, basándose en observaciones históricas, análisis de datos actuales, proyecciones astronómicas y pronósticos calculados. Los datos son recolectados y procesados antes de ser transmitidos a los navegantes.

• S-111 Corrientes Superficiales

Este producto define un formato para codificar y compartir información sobre corrientes superficiales (solo tiene en cuenta los primeros 25 m de agua), abarcando tanto datos puntuales en ubicaciones específicas como datos en cuadrícula (grided) que cubren áreas más amplias.

Los datos de la velocidad y dirección de las corrientes superficiales se visualizan mediante flechas que giran, su tamaño y color representando la velocidad y su orientación representando su dirección.

Los datos S-111 se pueden integrar en los ECDIS y otros sistemas de navegación; permiten la visualización dinámica de corrientes, la modificación de la escala de las flechas, la planificación de rutas y los cálculos de deriva, ayudando a los navegantes a comprender más su entorno. Además, puede manejar datos de pronóstico con diferentes intervalos de tiempo y resoluciones espaciales (OHI, 2023b)

• S-129 Gestión de Espacio Libre Bajo la Quilla

El estándar S-129 es una herramienta que ayuda a los barcos a navegar de forma segura creando planes de viaje personalizados que indican a los barcos las mejores rutas a seguir, teniendo en cuenta factores como las mareas y las profundidades del agua. Estos planes incluyen puntos de referencia específicos (puntos de control) y ventanas de tiempo para pasar por esos puntos. Esto asegura que los barcos mantengan una distancia segura del fondo marino y eviten encallar.

Los datos incorporados en el ECDIS permiten la generación automática de los valores del espacio libre bajo la quilla en tiempo real, visualizar áreas seguras y restringidas en base al calado del buque y tomar las mejores decisiones en navegaciones de aguas poco profundas.

Los responsables de proporcionar los datos necesarios para el funcionamiento de este producto con las oficinas hidrográficas nacionales o las autoridades portuarias (OHI, 2023c).

4. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO S-102

La navegación marítima, especialmente en aguas poco profundas, requiere información precisa y detallada del fondo marino para garantizar la seguridad de las operaciones. El estándar S-102 surge como una respuesta a esta necesidad, proporcionando un marco común para representar la batimetría en formato digital de cuadrícula de alta resolución, también denominado HDGB (High Definition Gridded Bathymetry).

Un Modelo Digital de Elevaciones o DEM (Digital Elevation Model) es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua, como lo es, por ejemplo, la cota del terreno/fondo marino en relación a un sistema de referencia en concreto.

Se podría decir que el producto S-102 es un DEM de alta resolución del fondo marino compuesto por batimetrías de alta densidad, permitiendo complementar la limitada información batimétrica que poseen las cartas náuticas electrónicas. En la figura 4.1 se puede observar un producto S-102 superpuesto con una ENC.

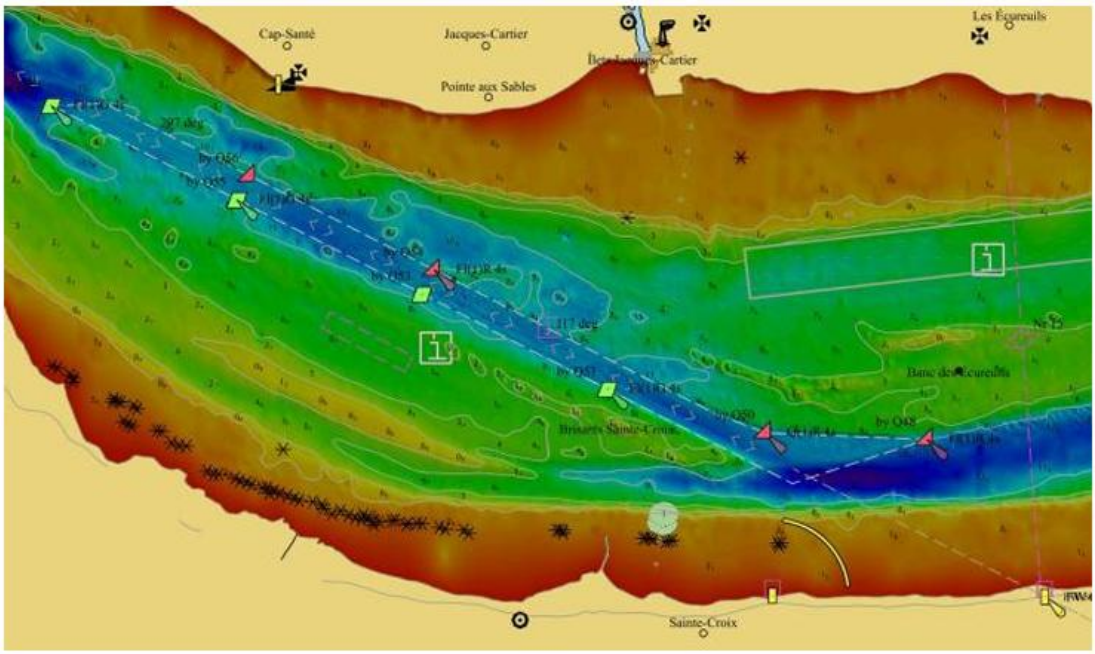


Figura 4.1: ENC con una Superficie Batimétrica S-102 superpuesta. Fuente: Kuwalek et al. (2012).

En este capítulo se profundiza sobre las especificaciones del producto Superficie Batimétrica o Bathymetric Surface que se encuentran la publicación S-102. Se explica principalmente su propósito, gestión, catálogo de objetos, estructura de datos, tipos

de visualización, formato de datos y estructura de la carpeta de intercambios (Exchange set).

La descripción desarrollada en este capítulo se basa en la edición 3.0.0, primera edición operacional de S-102. No obstante, los productos elaborados en este trabajo fueron exportados conforme a la edición 2.1, debido a las capacidades de la versión de CARIS BASE Editor disponible.

4.1 Propósito y gestión

Según la publicación S-102 (OHI, 2024b) el principal propósito del producto Superficie Batimétrica es proporcionar batimetría de alta resolución en forma de grilla para apoyar la seguridad de la navegación. Este producto puede implementarse para cualquier parte del dominio marítimo, sin limitaciones de su extensión. La utilización de la batimetría S-102 con otros productos compatibles con S-100 tiene como objetivo apoyar el paso seguro, el atraque y el amarre precisos, así como la planificación de rutas de los buques marítimos.

Es sumamente importante para los navegantes contar con las últimas novedades, ya que las condiciones y características del entorno marítimo pueden cambiar con el tiempo. Es por esto que la mantención y actualización de una Superficie Batimétrica publicada bajo el estándar S-102 de la OHI se lleva a cabo mediante los siguientes conceptos de Nueva Edición, Revisión y Clarificación.

- Nueva Edición: Se producen cuando se generan cambios significativos o existe una gran acumulación de modificaciones. La Nueva Edición debe contener todas las revisiones y aclaraciones de la edición anterior. Para poder identificar una Nueva Edición se indica mediante el primer número del formato: **n**.0.0

- Revisión: Se realizan cuando se producen cambios semánticos significativos. Corrigen errores factuales y se adaptan a las necesidades surgidas por experiencia práctica o cambios en las circunstancias. Son modificaciones menores que corrigen errores y añaden nuevas características sin alterar la estructura general. Las nuevas Revisiones deben contener todas las clarificaciones acumuladas de la Revisión anterior. Para poder identificar una Revisión se indica mediante el segundo número del formato: n.**n**.0

- Clarificación: Son cambios no significativos que corrigen errores gramaticales u ortográficos y eliminan ambigüedades. No causan cambios significativos. Para poder identificar una Clarificación se indica mediante el tercer número del formato: n.n.**n**

4.2 Catálogo de objetos

El catálogo de objetos S-102 describe los tipos de objetos y atributos que se encuentran en un producto de Superficie Batimétrica S-102.

La Superficie Batimétrica es un producto con características de cobertura que se encuentra compuesto por:

El objeto del tipo geográfico BathymetryCoverage (Cobertura batimétrica) que forma el contenido principal del producto y está completamente definido por sus atributos asociados de profundidad e incertidumbre que son del tipo simple y cuyas especificaciones se encuentran en la tabla 4.1.

Atributo	Tipo	Restricción
depth	real (32-bit Float)	Debe estar en metros decimales con una resolución que no exceda los 0,01 metros.
uncertainty	real (32-bit Float)	Debe estar en metros decimales con una resolución que no exceda los 0,01 metros.

Tabla 4.1: Atributos del objeto S-102 BathymetryCoverage.

El objeto del tipo meta QualityOfBathymetryCoverage (Calidad de la cobertura batimétrica) posee el propósito de proporcionar información localizada sobre profundidad, incertidumbres y metadatos de la cobertura batimétrica. Su único atributo asociado es de identificación; se puede observar su especificación en la tabla 4.2.

Atributo	Tipo	Restricción
iD	Entero positivo de 32 bits	Cada registro debe tener un identificador único.

Tabla 4.2: Atributos del objeto S-102 QualityOfBathymetryCoverage.

El producto S-102 a diferencia del estándar S-101 no posee relaciones entre sus objetos ni tampoco atributos del tipo complejo.

4.3 Estructura de datos y visualización

Como se mencionó anteriormente, la Superficie Batimétrica del estándar S-102 está basada en un DEM que representa su conjunto de datos en una cuadrícula regular (regular grid).

Una cuadrícula regular se encuentra compuesta por celdas rectangulares o cuadradas organizadas en filas y columnas, donde cada celda posee un tamaño definido y una ubicación geográfica determinada. El dato de cada celda se considera representativo de toda el área cubierta por la celda. En el caso de la Superficie Batimétrica este dato corresponde a la profundidad.

La georreferenciación de la cuadrícula está basada en puntos de cuadrícula (grid points) teniendo su origen de referencia en el punto de cuadrícula que se encuentra más al suroeste. En la figura 4.2 se puede observar la estructura de una cuadrícula S-102 compuesta por las celdas de cuadrícula (grid cell) centradas alrededor de los puntos de cuadrícula (grid point) georreferenciados, el origen de la cuadrícula (grid origin) y el límite de la cuadrícula (bounding box) que coincide con los límites de las celdas exteriores.

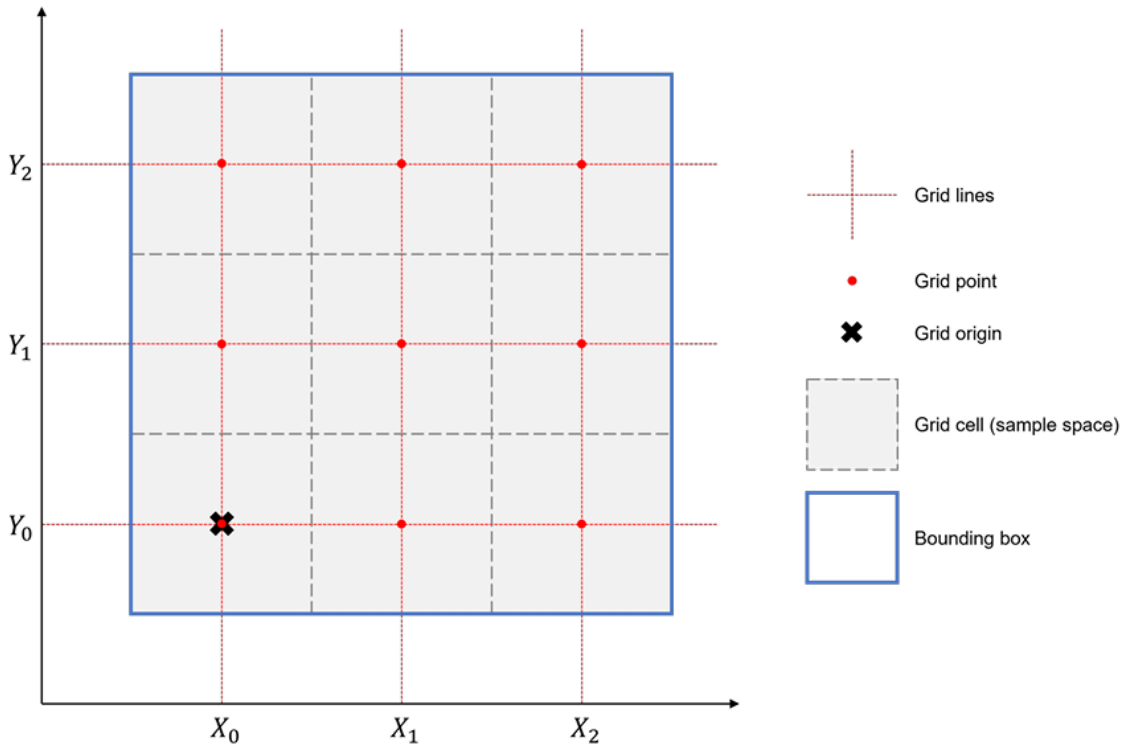


Figura 4.2: Estructura de una cuadrícula S-102. Fuente: OHI, 2024b.

En la figura 4.3 se puede observar la cantidad de información que puede proveer una cuadrícula S-102 de una resolución de 6 m x 6 m en comparación con el mismo espacio que ocupa un solo sondaje en una carta náutica de escala 1:22.000, donde 3,5 mm en la carta son 77 m en la realidad. Es decir, que un producto S-102 puede contener 169 profundidades nodales en el mismo espacio que ocupa un solo sondaje de una carta náutica.

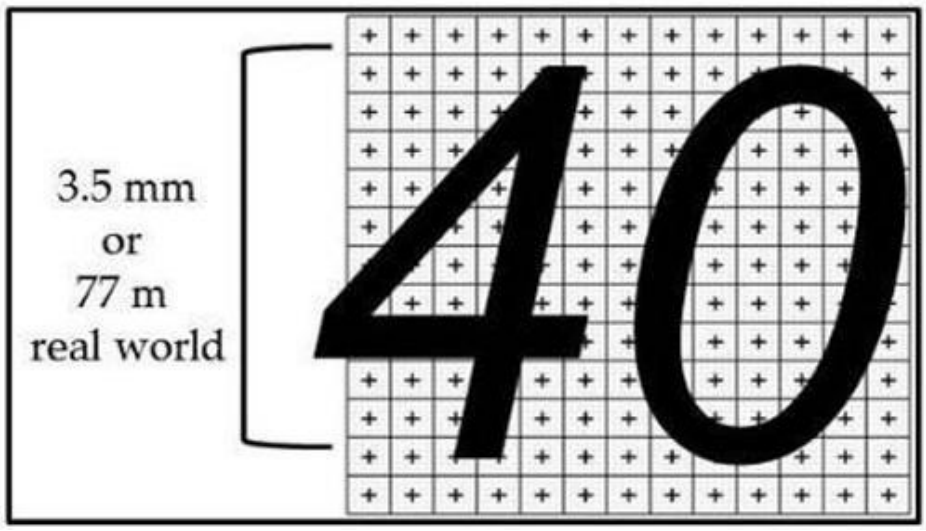


Figura 4.3: Diferencia de la cantidad de información que provee un producto S-102 en comparación con una carta náutica. Fuente: OHI, 2024b.

Para poder generar esta cuadrícula se deben interpolar todos los datos procesados del levantamiento batimétrico de alta densidad. Según la publicación S-102 (OHI, 2024b) se permiten los siguientes métodos de interpolación para poder generar un producto S-102.

- Media Ponderada Básica: Las estimaciones de profundidad dentro de un área de influencia dada son ponderadas y promediadas para calcular el valor del nodo final.

- Profundidad más Somera: Examina las estimaciones de profundidad dentro de un área de influencia específica y asigna el valor más somero (menos profundo) a la posición del nodo.

- Media Ponderada con Incertidumbre Propagada Total (TPU): Utiliza la profundidad y la incertidumbre propagada total asociada a cada estimación de profundidad para calcular una profundidad promedio ponderada para cada posición nodal.

- Estimador Combinado de Incertidumbre y Batimetría (CUBE): Similar a TPU pero al final calcula una o varias hipótesis para un área de interés que se usan para estimar profundidades estadísticas representativas en cada posición nodal.

- Vecino Más Cercano: Identifica el valor de profundidad más cercano dentro de un área de interés y asigna ese valor a la posición del nodo.

- Vecino Natural: Identifica y pondera un subconjunto de muestras de entrada dentro del área de interés para interpolar el valor nodal final.

- Tendencia Polinómica: Intenta ajustar una tendencia polinómica, o una superficie de mejor ajuste, a un conjunto de puntos de datos de entrada.

- Spline: Estima profundidades nodales usando una función matemática para minimizar la curvatura general de la superficie.

- Kriging: Genera una superficie estimada a partir de un conjunto disperso de puntos con una profundidad conocida, también proporciona una estimación de la incertidumbre en cada punto.

Conforme al punto explicado anteriormente, el producto S-102 cuenta únicamente con dos objetos S-102: BathymetryCoverage y QualityOfBathymetryCoverage. La información de cada uno de estos objetos se encuentra almacenada y representada en una cuadrícula, siendo las celdas que la componen las que contienen los datos de sus atributos. Es decir que las celdas de la cuadrícula BathymetryCoverage van a contener la información de la profundidad y opcionalmente de incertidumbre, mientras que las celdas de la cuadrícula QualityOfBathymetryCoverage solo van a contener su identificación (id).

La representación del producto S-102 se encuentra diseñada para garantizar la clara visualización de la superficie batimétrica, asignando colores estandarizados a rangos de profundidades. Asegurando a los navegantes una interpretación clara que no dé lugar a confusiones y permita ser interoperable con otros productos S-100.

Existen dos modos de visualizar la información de un producto S-102. Uno de estos modos es el ráster, que permite visualizar la superficie batimétrica como una cuadrícula iluminada por el sol (sun-illuminated) para poder ver más fácilmente la textura del relieve del fondo marino. Esta visualización requiere configurar el azimut y la elevación del sol. Otra forma de visualizar el modo ráster es mediante una

cuadrícula plana/estática (flat) donde no hay fuente de iluminación, mostrándose con colores planos. Estos dos modos de visualización de ráster se pueden observar en la figura 4.4.

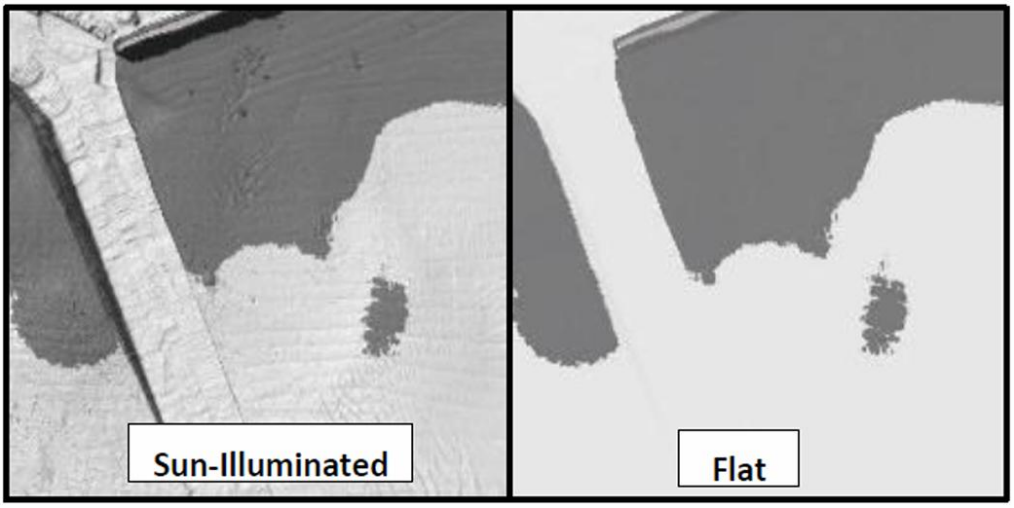


Figura 4.4: Modos ráster de visualización de S-102. Fuente: OHI, 2024b.

El modo ráster también permite visualizar la superficie batimétrica de forma tridimensional.

El segundo modo de visualización es el de vector, similar al de las cartas electrónicas, con la diferencia de que permite generar contornos de seguridad configurables según el calado del buque, como se puede observar en la figura 4.5.

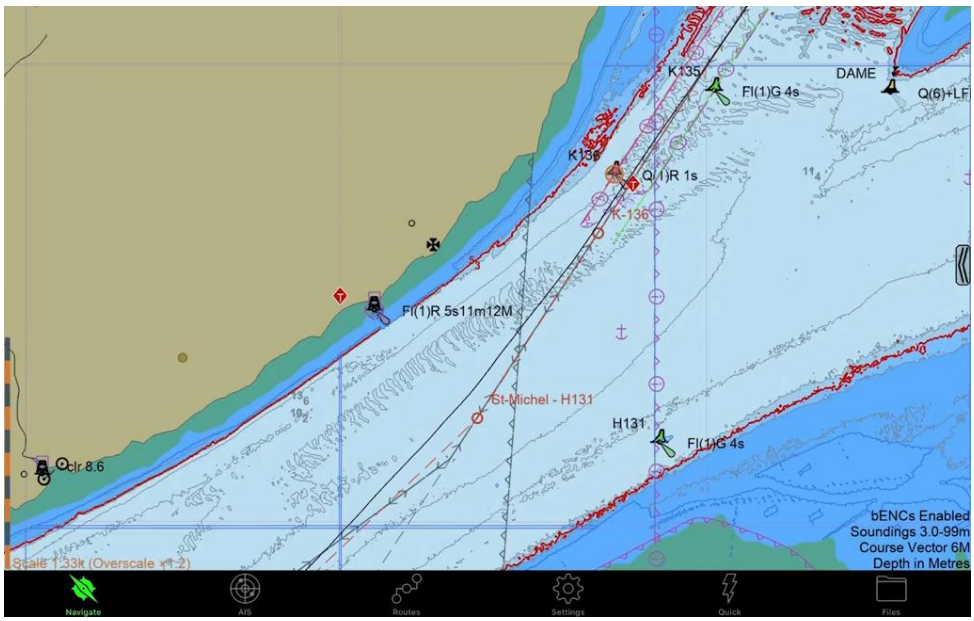


Figura 4.5: Modo vector de visualización de S-102. Fuente: Maritime Simulation and Resource Center, 2020.

4.4 Dataset y Exchange Set

Una vez que el producto S-102 se encuentra finalizado, se exporta como un Dataset encriptado en formato de archivos de datos jerárquicos (HDF5, Hierarchical Data Format version 5) que permite almacenar, organizar y gestionar grandes cantidades de datos.

El nombre del Dataset va a estar basado en la siguiente nomenclatura:

102PPPPØØØØØØØØØØ.H5

Donde “102” es obligatorio para identificarlo como un dataset S-102, “PPPP” es el nuevo código que identifica al país u organización productora que se encuentra en el Registro de Códigos de Productores S-65 (Argentina tiene asignado el código “AR00”), “ØØØØØØØØØ” es el código individual de la celda que puede contener letras, números o guion bajo y “H5” indica que es un archivo HDF5.

La carpeta de intercambio o Exchange Set es la estructura y formato que cumplen los datos para que puedan ser entregados digitalmente. Esta es similar al Exchange Set de S-101, pero con la diferencia de que contiene el Dataset S-102 exportado como un conjunto de datos codificados en formato HDF5 y un catálogo de intercambio (Exchange Catalogue) compuesto por CATALOG.XLM y CATALOG.SIGN. También, puede tener otros elementos opcionales como un catálogo de características (Feature Catalogue) o un catálogo de representación (Portrayal Catalogue). Estos archivos van a estar dentro de una subcarpeta nombrada S-102 que a su vez va a estar dentro de una carpeta denominada S100_ROOT que contendrá el resto de los productos S-100.

El límite del tamaño y resolución del Dataset S-102 queda a decisión del productor de este, aunque se recomienda un límite de 10MB.

5. DATOS

Los datos utilizados para la elaboración de las superficies batimétricas provienen de levantamientos realizados por la Oficina Hidrográfica del Reino Unido (UKHO, United Kingdom Hydrographic Office). En la tabla 5.1 se presenta el número de ID asignado a cada uno de los 16 levantamientos, junto con las fechas en las que fueron realizados, en formato Año-Mes-Día, y el nombre del archivo en formato CSAR (CARIS Spatial Archive) que se utilizó. Este es un formato de almacenamiento desarrollado por CARIS para manejar de forma eficiente grandes volúmenes de datos batimétricos, tanto grillas como nubes de puntos. Facilita la visualización, edición y análisis de datos tanto en 2D como en 3D, y presenta una mejor integración con herramientas de CARIS (Fellinger, 2010). El levantamiento más reciente de la tabla 5.1 fue el de ID 16, realizado en el año 2016, mientras que los más antiguos fueron los de ID 1, 2 y 3, realizados en el año 1993.

Id	Nombre del archivo CSAR	Comienzo	Fin
1	1993 HI584 Deception Island Blk1	19930203	19930214
2	1993 HI584 Deception Island Blk2	19930203	19930214
3	1993 HI584 Deception Island Blk3	19930203	19930214
4	2006 HI1099 Bransfield Strait South Shetlands	20060129	20060204
5	2006 HI1099 Deception Island	20060129	20060204
6	2007 HI1194 South Shetland Islands	20061102	20070303
7	2008 2008-009731 Gerlache Strait to North Robert Island	20081101	20081216
8	2008 2008-009731 South Livingston Island	20081101	20081216
9	2008 HI1232 Deception Island	20080113	20080117
10	2008 HI1232 South Shetland Islands	20080114	20080328
11	2010 2010-072460 South Shetland Islands	20100117	20100202
12	2011 HI1347 South Shetland and South Orkney Islands	20110203	20110310
13	2012 HI1383 Deception Island 2m SB	20120116	20120229
14	2012 HI1383 Deception Island 4m SB	20120116	20120229
15	2012 HI1383 Deception Island 8m SB	20120116	20120229
16	2016 HI1439 Deception Island 8m SDTP	20160314	20160404

Tabla 5.1: Id, nombre de archivo CSAR y fechas de comienzo y fin de los 16 levantamientos.

En la tabla 5.2 se puede observar las zonas que abarcan cada levantamiento según su Id así como su extensión geográfica aproximada. Hay levantamientos que cubren poca área, como por ejemplo los levantamientos con Id 3, 14 y 15, que cubren sectores

específicos dentro de la Isla Decepción, como Banco Stacy o Caleta Balleneros. También hay levantamientos que cubren una gran extensión tanto de la isla Decepción como de otras partes de la Antártida, por ejemplo, los levantamientos con Id 4, 6, 7, 11 y 12 que abarcan las Islas Shetland del Sur, el Mar de la Flota, Estrecho Larrea, Estrecho Bismarck, Islas Orcadas del Sur y Estrecho de Gerlache. Siendo el levantamiento Id 12 el que más extensión abarca, desde las latitudes 67°37'57"S a 60°27'16"S y desde las longitudes 071°16'59"W a 044°57'35"W.

Id	Zona	Límite aproximado	
		Latitudes	Longitudes
1	Puerto Foster	62°59'43"S 62°55'11"S	060°42'48"W 060°33'05"W
2	Fuelles de Neptuno	63°00'51"S 62°58'30"S	060°36'57"W 060°29'27"W
3	Banco Stacy	62°59'13"S 62°58'16"S	060°39'27"W 060°37'19"W
4	Sur de las Islas Shetland del Sur	62°57'27"S 62°05'13"S	060°22'36"W 057°52'27"W
5	Acceso a Puerto Foster	62°59'44"S 62°56'41"S	060°41'25"W 060°21'38"W
6	Isla Decepción y Mar de la Flota	63°04'41"S 62°43'39"S	060°55'23"W 058°10'25"W
7	Estrecho de Gerlache, Isla Decepción y Mar de la Flota	65°00'34"S 62°01'16"S	064°13'23"W 059°27'05"W
8	Sur de la Isla Livingston	62°50'31"S 62°44'44"S	061°03'18"W 059°59'12"W
9	Fuelles de Neptuno y Caleta Balleneros	62°59'55"S 62°58'45"S	060°35'11"W 060°31'24"W
10	Sur de la Isla Livingston	62°55'31"S 62°41'42"S	061°14'24"W 062°27'59"W
11	Mar de la Flota, Estrecho Larrea y Estrecho Bismarck	64°56'09"S 62°01'38"S	064°42'38"W 056°46'06"W
12	Mar de la Flota, Islas Orcadas del Sur y Estrecho de Gerlache	67°37'57"S 60°27'16"S	071°16'59"W 044°57'35"W
13	Fuelles de Neptuno y Caleta Balleneros	62°59'52"S 62°58'45"S	060°34'43"W 060°30'53"W
14	Caleta Balleneros	62°59'42"S 62°58'48"S	060°34'46"W 060°33'15"W
15	Caleta Balleneros	62°59'36"S 62°58'55"S	060°34'45"W 060°33'24"W
16	Acceso a Puerto Foster	63°01'22"S 62°57'32"S	060°38'29"W 060°29'27"W

Tabla 5.2: Id, zona y límite aproximado de los 16 levantamientos.

En la tabla 5.3 se puede observar el instrumento, su orden de levantamiento, el posicionamiento utilizado, la escala de levantamiento y el datum vertical según el Id. Cuatro de los 16 levantamientos fueron realizados con sonda monohaz, mientras que la mayoría fueron realizados con sonda multihaz. Los levantamientos más modernos, correspondientes a los Id 13 al 16, especifican un Orden 1a, que es el tercer orden de mayor exigencia establecido por la publicación S-44. Además, los Id 13, 14 y 15 utilizaron un sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS), mientras que el levantamiento correspondiente al Id 16 utilizó RTK DGPS, que incorpora correcciones en tiempo real y proporciona una mayor precisión. Todos los levantamientos poseen el datum horizontal World Geodetic System 1984 (EPSG: 6326) y el datum vertical de la bajamar astronómica más baja (LAT).

Id	Instrumento	Orden	Posicionamiento	Escala	Datum vertical
1	Ecosonda monohaz	-	GPS	88000	LAT
2	Ecosonda monohaz	-	GPS	28000	LAT
3	Ecosonda monohaz	-	GPS	32000	LAT
4	Ecosonda multihaz	-	GPS	32000	LAT
5	Ecosonda multihaz	-	GPS	7200	LAT
6	Ecosonda multihaz	-	-	3600	LAT
7	Ecosonda multihaz	-	DGPS	96000	LAT
8	Ecosonda multihaz	-	DGPS	96000	LAT
9	Ecosonda monohaz	-	-	16000	LAT
10	Ecosonda multihaz	-	-	6800	LAT
11	Ecosonda multihaz	-	-	-	LAT
12	Ecosonda multihaz	-	-	-	LAT
13	Ecosonda multihaz	Orden 1a	DGPS	-	LAT
14	Ecosonda multihaz	Orden 1a	DGPS	-	LAT
15	Ecosonda multihaz	Orden 1a	DGPS	-	LAT
16	Ecosonda multihaz	Orden 1a	RTK DGPS	-	LAT

Tabla 5.3: Id, instrumento, orden, posicionamiento, escala y datum vertical de los 16 levantamientos.

Por otra parte, en la figura 5.1 pueden observarse los levantamientos y sus zonas de confianza de la ENC AR407620 utilizados para realizar el Modelo Digital de Elevaciones que posteriormente se imprimió en una impresora 3D. Cada uno de los

levantamientos que componen la ENC provee cobertura de una zona y fue realizado por algunos de los siguientes países: la República Argentina, el Reino de España y el Reino de Gran Bretaña. Debido a que la zona es poco relevada por su difícil accesibilidad geográfica, los datos batimétricos provienen de la integración de varios levantamientos realizados entre los años 1948 y 2017 de distinta calidad. Se dispone de áreas con datos de excelente calidad, como las zonas de confianza A, así como con datos de menor calidad, como las zonas de confianza C.

Zonas de Confianzas (ZOC) de los levantamientos que componen la ENC AR407620

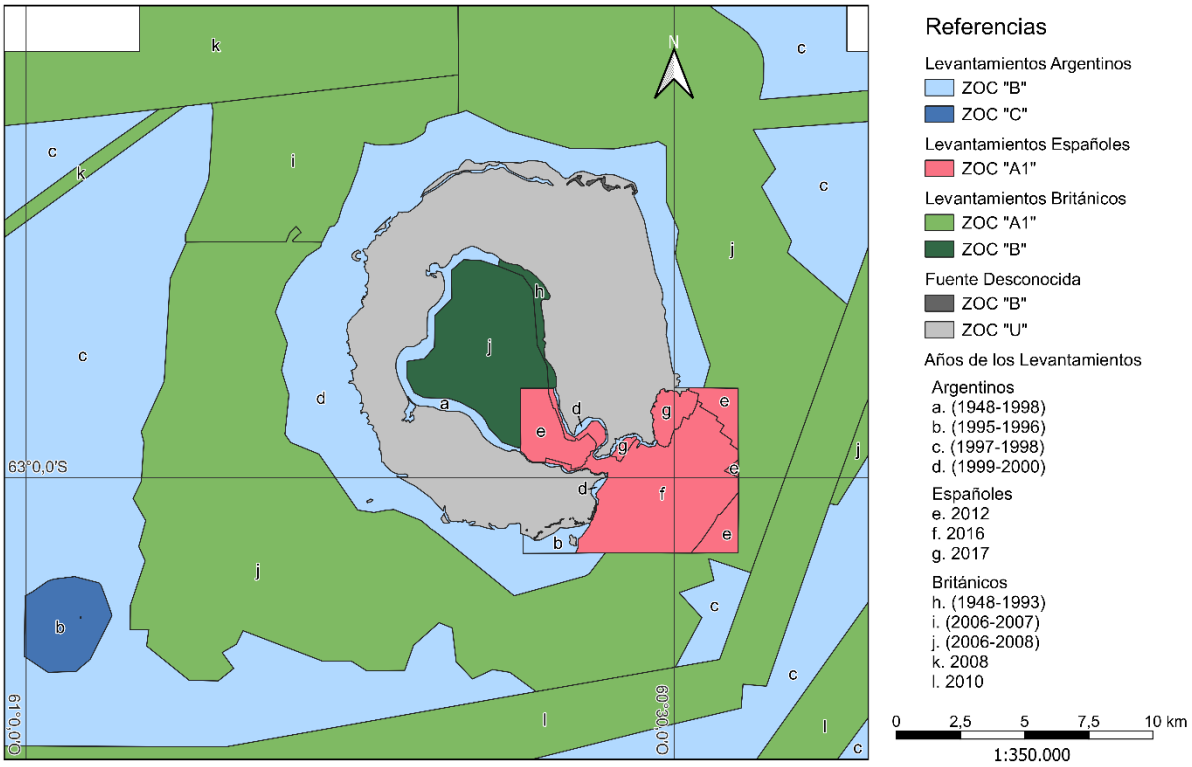


Figura 5.1: Diagrama de las ZOC que componen la ENC AR407620 1era. Ed.
Fuente: Elaboración propia, datos del SHN.

En este capítulo se desarrolla la metodología empleada en los levantamientos batimétricos utilizados, desde la obtención del dato hasta su procesamiento y la confianza asignada según los estándares establecidos por la OHI. Para poder comprender su origen y utilizarlo luego en la generación de las superficies batimétricas según el estándar S-102.

5.1 Levantamientos batimétricos

Los levantamientos batimétricos consisten en la medición y representación del relieve del fondo de océanos, mares y otros cuerpos de agua, como ríos, lagos y embalses. En otras palabras, el objetivo de los levantamientos es obtener coordenadas tridimensionales de puntos bajo el agua, midiendo la distancia vertical entre la superficie del agua y el fondo, obteniendo el dato crudo que posteriormente es procesado, referenciándolo a un plano.

El proceso de obtención del dato crudo, si es llevado a cabo profesionalmente, suele involucrar tecnología avanzada. Algunos de los métodos más actuales hoy en día son: ecosondas (monohaz o multihaz), altimetría satelital y tecnología LiDAR para la obtención de la profundidad (coordenada Z) y sistemas de posicionamiento global (GPS) para el posicionamiento horizontal (coordenadas X e Y).

Los 16 levantamientos fueron realizados con ecosondas monohaz o multihaz. A continuación, se profundiza sobre el método de levantamiento batimétrico por ecosonda, específicamente multihaz (multibeam sonar), debido a que es el método actual por excelencia que nos permite obtener una batimetría de primera calidad que cumpla con los estándares más exigentes de la OHI.

5.1.1 Obtención de datos

• Ecosondas

Las ecosondas miden la profundidad de forma indirecta, ya que su funcionamiento se basa en la medición del tiempo que tarda en ser emitido y recibido un pulso acústico luego de ser reflejado por el fondo marino. La onda acústica es emitida por un transductor que convierte señales eléctricas en sonoras, que al ser recibidas por el receptor vuelven a ser convertidas en una señal eléctrica. Luego, conociendo la velocidad del sonido en el agua, con la ecuación de velocidad se puede conocer la profundidad. Como el pulso acústico recorre la distancia al fondo dos veces (en la ida y en la vuelta), la profundidad calculada debe ser dividida por 2 (figura 5.2).

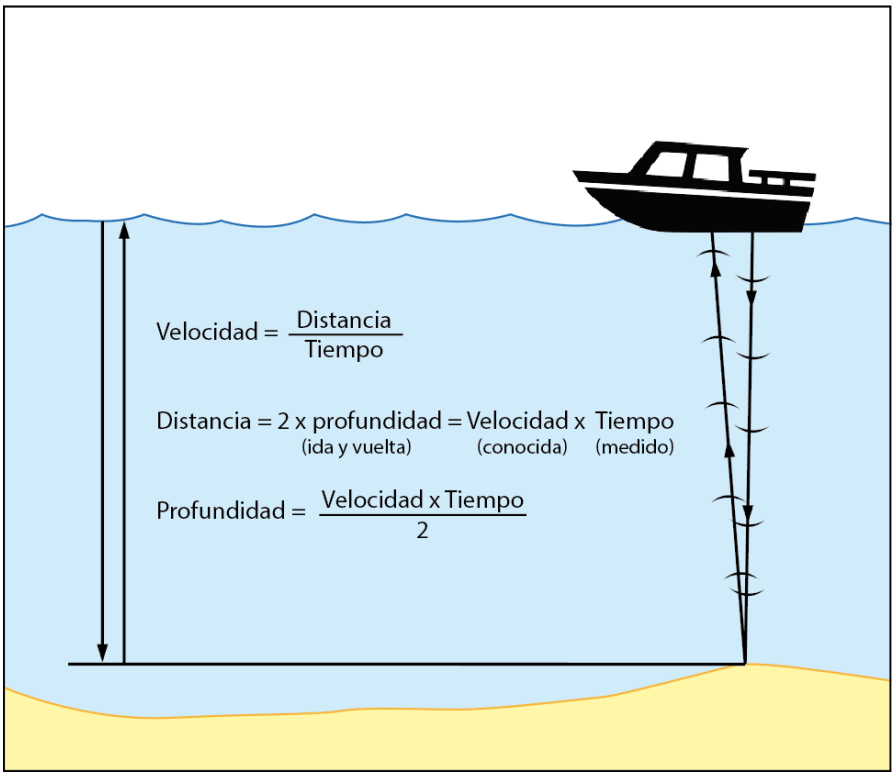


Figura 5.2: Esquema del cálculo de profundidad mediante una ecosonda. Fuente: Elaboración propia.

El rango de frecuencias de una ecosonda varía entre 12 y 200 kHz, y su elección depende de la profundidad y el nivel de detalle requerido. A mayor frecuencia, se obtiene mejor resolución, pero con mayor atenuación de la señal. Por eso, se emplean frecuencias altas para aguas poco profundas y frecuencias bajas para profundidades mayores. Por ejemplo, se utilizan 200 kHz para profundidades menores a 100 m, 50-200 kHz para profundidades de hasta 1500 m y 12-50 kHz para más de 1500 m (Fontán et. al., 2009).

La ecosonda monohaz, como lo indica su nombre, emite y recibe un solo pulso acústico o haz a la vez debido a que posee únicamente un transductor. Por lo que no puede realizar una cobertura completa de una zona.

Por el contrario, las sondas multihaz están compuestas por muchos transductores, pudiendo emitir y recibir un abanico de pulsos acústicos, los cuales utilizan cálculos de trigonometría para poder calcular la profundidad según la inclinación inicial del haz. Este abanico barre la topografía del suelo marino de forma perpendicular al rumbo del

barco, cubriendo una zona mucho mayor. En la figura 5.3 se puede apreciar la diferencia de cobertura entre una ecosonda monohaz y una multihaz.

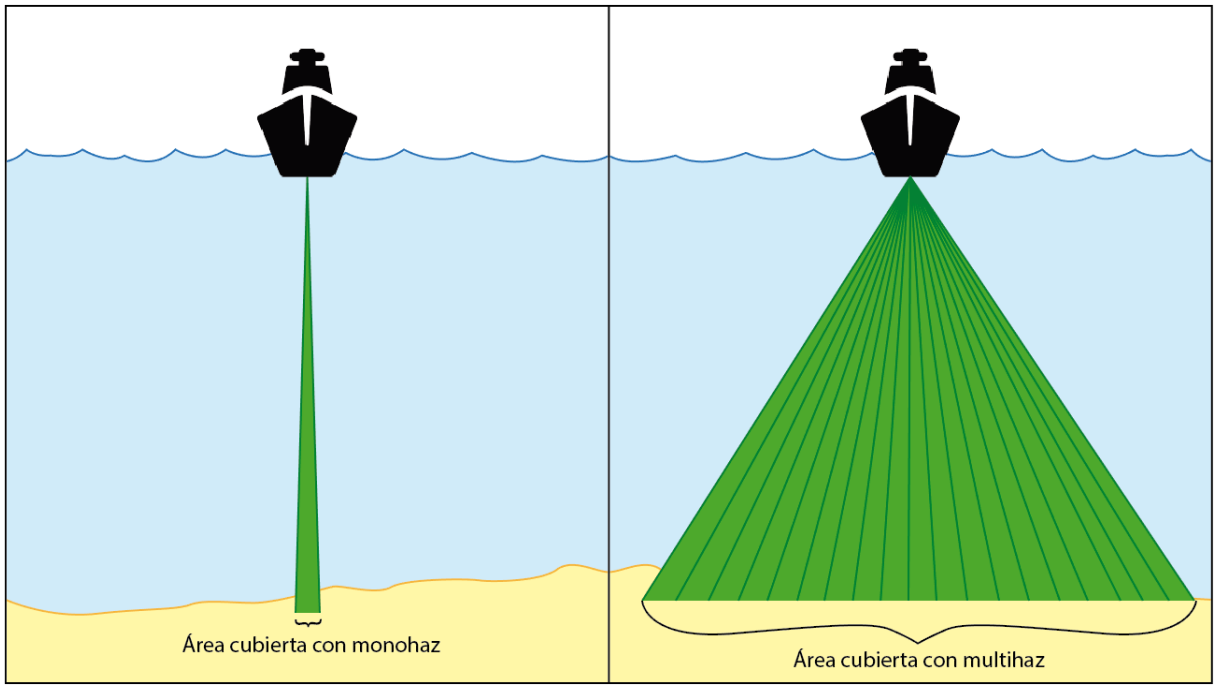


Figura 5.3: Diferencia de coberturas entre una ecosonda monohaz y una ecosonda multihaz. Fuente: Elaboración propia.

• Calibración

Como se mencionó anteriormente, para poder calcular la profundidad debemos conocer la velocidad del sonido en la columna de agua, lo cual es más complejo de lo que parece debido a que la velocidad del sonido no solo varía en función de la temperatura, salinidad y presión, sino que también varía según las características de la región y de las fluctuaciones climáticas estacionales. Aunque se suele tomar 1500 m/s como una velocidad del sonido aproximada, es necesario calibrar la sonda midiendo los parámetros de temperatura, salinidad y presión (Ballestero Mora et. al., 2010).

Según el manual de hidrografía C-13 (OHI, 2005) la velocidad del sonido en el agua aumenta 4,5 m/s cada grado centígrado de aumento de temperatura, 1,3 m/s cada 1 ppm de aumento de salinidad y 0,016 m/s por cada metro de profundidad.

Se puede calcular la velocidad del sonido en el agua mediante varios instrumentos que miden uno o más de uno de estos parámetros. El perfilador de velocidad del sonido, por ejemplo, utiliza un sensor de presión para poder calcular la velocidad del

sonido en distintos niveles a lo largo de la columna de agua. El CTD es un instrumento que posee sensores de temperatura y conductividad (calcula la salinidad por medición directa de la conductividad eléctrica) para obtener la velocidad del sonido. El termistor mide la temperatura para calcular la velocidad del sonido mediante una resistencia eléctrica.

• Planificación

Primeramente, se debe delimitar la extensión de la zona a relevar. Luego, en el software de levantamiento batimétrico, se planifican las líneas de pasada teniendo en cuenta:

- La profundidad media de la zona, debido a que a mayor profundidad, menor será el ángulo de apertura y cobertura de la ecosonda (ver figura 5.4).

- La superposición entre pasadas de 50% para poder verificar y calcular los errores de las profundidades medidas por la ecosonda (ver figura 5.5)

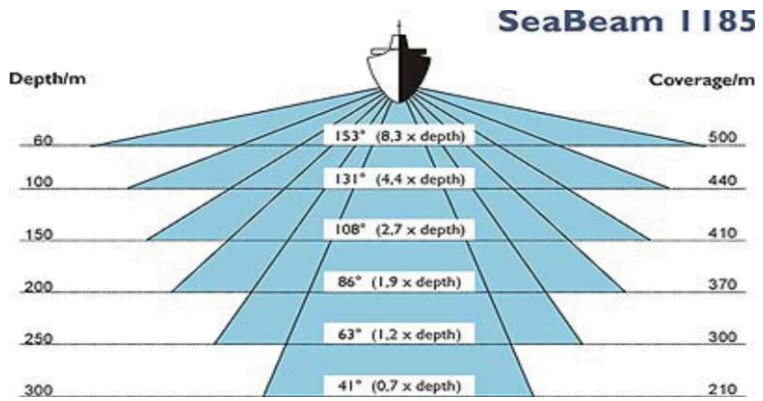


Figura 5.4: Cobertura según profundidad de la sonda multihaz SeaBeam 1185. Fuente: Ballestero Mora et. al., 2010.

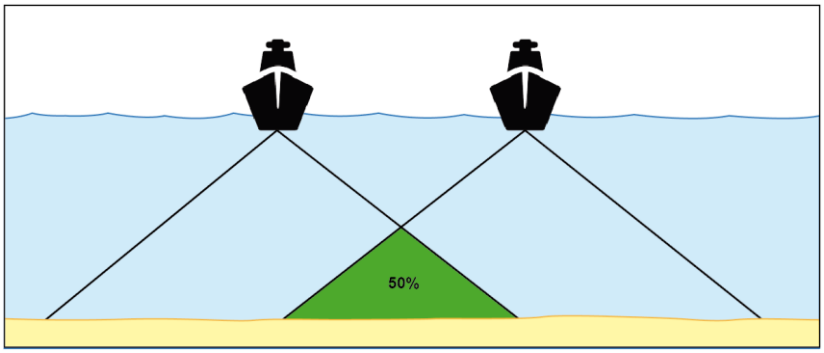


Figura 5.5: Superposición de 50% entre pasadas consecutivas. Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Manejo de datos

• Errores

Según el manual de hidrografía C-13 (OHI, 2005), algunas fuentes de errores en los levantamientos batimétricos con ecosonda suelen ser:

- El error de las coordenadas horizontales proporcionadas por el GPS. Varía según el GPS utilizado.

-El error producido por el cabeceo, el rolido y el cambio de rumbo, movimientos angulares que experimenta el buque principalmente debido al oleaje y que pueden provocar errores en la medición de la profundidad (véase la figura 5.6). El rolido, representado por el ángulo φR, corresponde a la rotación alrededor del eje longitudinal del buque; el cabeceo, representado por el ángulo θP, corresponde a la rotación alrededor del eje transversal; y el cambio de rumbo corresponde a la rotación alrededor del eje vertical. Estas rotaciones pueden ser medidas mediante una unidad de medición inercial (IMU, por sus siglas en inglés, Inertial Measurement Unit) y posteriormente compensadas durante el procesamiento de los datos.

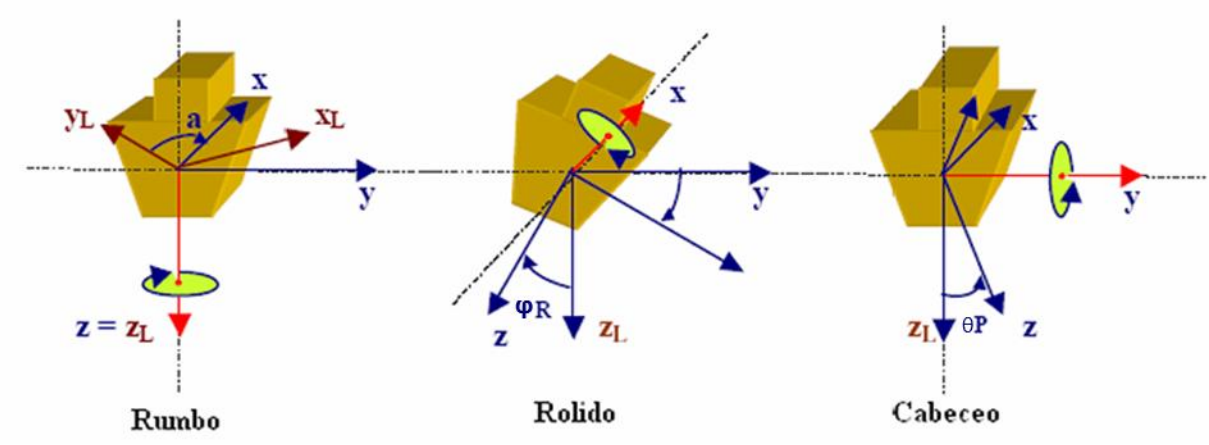


Figura 5.6: Movimientos de un barco debido al oleaje. Fuente: OHI, 2005.

- El error del calado ($dz_{draught}$) que se produce por la variación del calado durante el levantamiento, el error de asiento ($dz_{settlement}$) que se produce por el hundimiento del buque cuando está en movimiento y el error de asentamiento (dz_{squat}) que se produce cuando se levanta la proa del buque debido a su velocidad, componen el error total dado por la posición del transductor a la línea de agua (dz_i) según la ecuación 5.1:

$$dz_i = \sqrt{(dz_{\text{draught}})^2 + (dz_{\text{settlement}})^2 + (dz_{\text{squat}})^2} \quad (5.1)$$

- El error por la mala interpretación de los ecogramas, que ocurre cuando se pasan por alto ecos falsos (cuando el eco rebota sobre peces o algas en vez del fondo), ecos múltiples (cuando el eco recibido rebota en la superficie y vuelve a ser reflejado por el fondo multiplicándose) o ecos laterales (cuando se recibe el eco de un lóbulo lateral del pulso acústico en vez del lóbulo frontal).

- Errores en la instalación y calibración de la sonda, ocurre cuando la sonda instalada en el barco no se encuentra completamente alineada con el eje vertical y los ejes horizontales del barco. Se puede solucionar calculando el retardo de tiempo entre la medición de profundidad y el posicionamiento y calculando los desfases por cabeceo, acimutal y por rolido.

• Plano de reducción

El plano de reducción es el nivel de referencia de las profundidades indicadas sobre las cartas náuticas (generalmente nivel de bajamares) que representa de igual manera el nivel de referencia de las alturas de la marea establecidas en las Tablas de Marea. También se denomina referencia batimétrica o plano de referencia, e indica la mínima profundidad del lugar asegurando la seguridad náutica (SHN, 2024).

El plano de reducción de sondajes más utilizado en el ámbito náutico es el LAT (Lowest Astronomical Tide) cuya traducción indica que tiene en cuenta la bajamar astronómica más baja. La marea astronómica se define como la oscilación periódica del nivel del mar que resulta de la atracción gravitacional de la Luna y el Sol que actúa sobre la Tierra en rotación (SHN, s.f.).

El LAT se calcula con datos de mareas predichas en un período de al menos 19 años, conocido como ciclo de Metón, lo que asegura la precisión al coincidir con el ciclo orbital de la Tierra y la Luna (López, 2023).

Es de vital importancia saber la marea durante el periodo que se realiza el levantamiento batimétrico para así poder referenciar los datos medidos al plano de reducción de sondajes. En la figura 5.7 se puede observar un esquema de los datos que se tienen en cuenta en un levantamiento para poder calcular el sondaje utilizado en la carta.

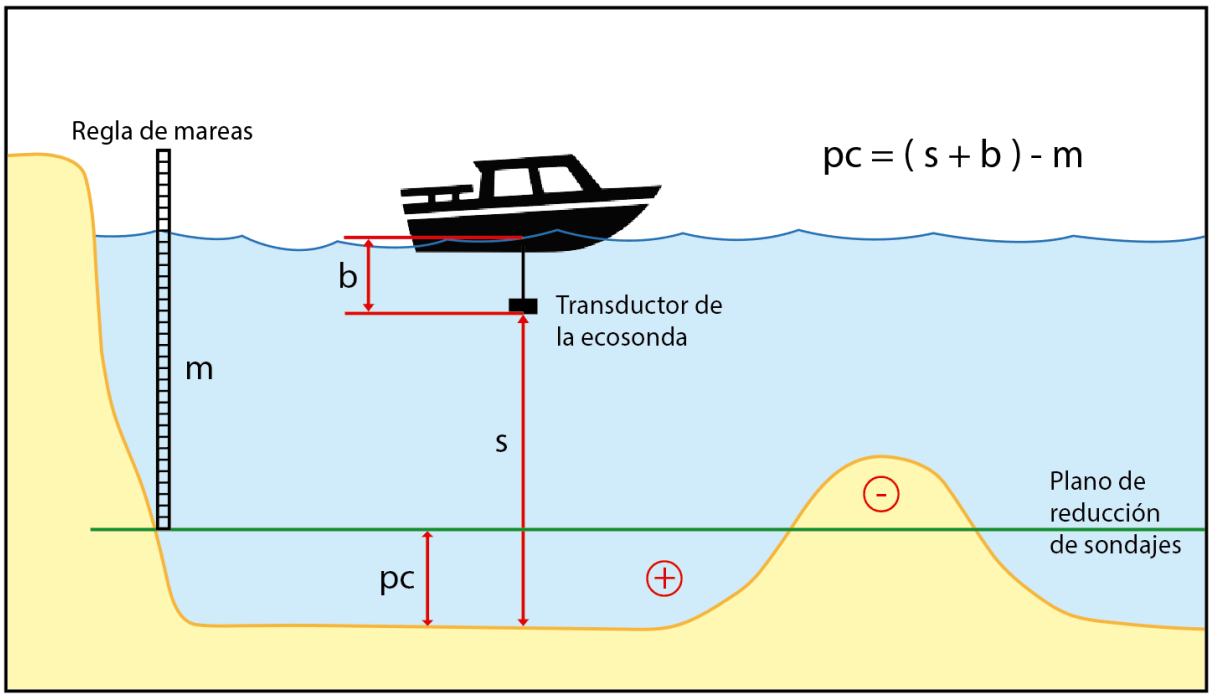


Figura 5.7: Referenciación de los datos levantados. Fuente: Elaboración propia.

Donde “pc” es la profundidad de la carta (positiva por debajo del plano de reducción y negativa por arriba), “s” la distancia vertical del transductor de la ecosonda al fondo, “b” la distancia vertical del pelo de agua a la ecosonda y “m” es la marea medida.

5.2 Zonas de confianza de la OHI

Para resaltar la precisión de los datos presentados en las cartas, los cartógrafos utilizan los valores de Categoría de Zona de Confianza (ZOC, Zone of Confidence). Una ZOC es un área que generaliza la calidad de la profundidad cartografiada en esa zona. La calidad de los datos hidrográficos se valora según seis categorías: Cinco categorías de calidad para datos que han sido evaluados (A1, A2, B, C y D); y una sexta categoría (U) para datos que no han sido evaluados.

En el estándar S-57 existe un objeto meta de área denominado M_QUAL (calidad de los datos o en inglés quality of data) que posee un atributo obligatorio denominado Categoría de zona de confianza en los datos (CATZOC, Category of zone of confidence in data). Por otro lado, en el estándar S-101, el mismo objeto se denomina QualityOfBathymetricData (calidad de los datos batimétricos) y posee algunos atributos diferentes. Uno de sus atributos es un atributo del tipo complejo denominado zoneOfConfidence (zona de confianza), que a su vez posee el sub-atributo de

categoryOfZoneOfConfidenceInData (categoría de zona de confianza en los datos) junto con otros atributos simples.

La tabla 5.4 describe la precisión de posición, la precisión de profundidad y la cobertura del fondo marino para cada valor de ZOC.

ZOC	Exactitud de posición	Exactitud de profundidad	Cobertura del fondo marino
A1	± 5 m + 5% profundidad	0.50 m + 1% profundidad	Cobertura completa del área. Detección de elementos significativos del fondo y medición de profundidades.
A2	± 20 m	1.00 m + 2% profundidad	Cobertura completa del área. Detección de elementos significativos del fondo y medición de profundidades.
B	± 50 m	1.00 m + 2% profundidad	Cobertura incompleta del fondo; no se espera que haya elementos peligrosos para la navegación de superficie sin cartografiar, pero pueden existir.
C	± 500 m	2.00 m + 5% profundidad	Cobertura incompleta del fondo, se pueden esperar anomalías de profundidad.
D	Peor que ZOC C	Peor que ZOC C	Cobertura incompleta del fondo; se pueden esperar anomalías de profundidad importantes.
U	No evaluado – No se ha evaluado la calidad de los datos de profundidad.		

Tabla 5.4: Características de las zonas de confianzas establecidas en la publicación S-67 (OHI, 2020).

La asignación de una ZOC indica que los datos cumplen con los criterios mínimos de precisión en posición y profundidad, y de cobertura del fondo marino definidos en la tabla 5.4. La exactitud de posición y profundidad especificadas para cada categoría de ZOC se refiere a los errores de los sondajes finales representados e incluye no solo los errores del levantamiento, sino también otros errores introducidos en el proceso de producción de la carta, como en la transformación o la digitalización.

Las categorías de ZOC reflejan un estándar de cartografía y no solo un estándar de levantamiento hidrográfico. Para la categorización específica de levantamientos hidrográficos se utiliza la publicación S-44 (OHI, 2022), que divide los levantamientos en 5 órdenes (Orden 2, Orden 1b, Orden 1a, Orden Especial y Orden Exclusivo) según la descripción del área del levantamiento, la incertidumbre horizontal, la incertidumbre vertical, la detección y busca de elementos y por la cobertura batimétrica.

6. METODOLOGÍA

Para comprender la elaboración de los productos S-102, es crucial analizar el software empleado. A lo largo de este capítulo, se detallan sus características principales, sus componentes, funcionalidades y especificaciones técnicas, junto con los procedimientos aplicados para generar los productos finales.

6.1 Software BASE Editor

Para la elaboración de las Superficies Batimétricas conforme al estándar S-102 se utilizó el software CARIS BASE Editor de la empresa canadiense Teledyne CARIS, el cual es una aplicación de escritorio independiente, es decir, que no se encuentra conectada a un servidor, que permite validar datos y trabajar sobre superficies batimétricas (Cove et. al., 2014).

Se utilizó específicamente la versión 6.1 de CARIS BASE Editor para la producción de las superficies batimétricas, dado que era la versión disponible en el SHN al momento de la elaboración de la tesina. Esta versión solo permite exportar a la edición 2.1 de la especificación S-102, por lo que todos los productos fueron exportados conforme a dicha edición.

Sin embargo, actualmente se encuentra disponible la versión 6.1.20 de BASE Editor que permite exportar a la edición 3.0.0 operacional del estándar S-102. También permite visualizar datos en 2D y 3D, utilizar herramientas para comparar datos, generar isobatas, sondajes y objetos meta en formato S-57 y S-100, integrar datos LIDAR, automatizar procesos con Python e integrar módulos para acceder a datos en servidores (Teledyne CARIS, s.f.).

La herramienta más importante utilizada para este trabajo que provee este software es la de “Export raster to S-102”, la cual permite exportar una superficie batimétrica grillada de alta densidad en formato CSAR a un producto S-102.

La empresa CARIS (Teledyne CARIS, s.f.) recomienda las siguientes especificaciones técnicas para la correcta utilización del software; estas se presentan en la tabla 6.1.

Componente	Recomendado
Procesador	CPU de múltiples núcleos de generación reciente
Memoria	16 GB de RAM
Almacenamiento	Unidad de disco duro de 7200 RPM o unidad de estado sólido, mínimo 1 GB disponible para instalación
Pantalla	Adaptador de pantalla Nvidia o AMD compatible con OpenGL 3.3, con GPU de 2 GB de memoria o más
Sistema Operativo	Windows 10 Professional de 64 bits o Windows 11 Professional de 64 bits

Tabla 6.1: Especificaciones técnicas recomendadas por la empresa Teledyne CARIS para el BASE Editor.

6.2 Flujo de trabajo

En la figura 6.1 se puede observar el diagrama de flujo de trabajo que utiliza el Departamento de Hidrografía del SHN para el procesamiento de las batimetrías y generación de productos.

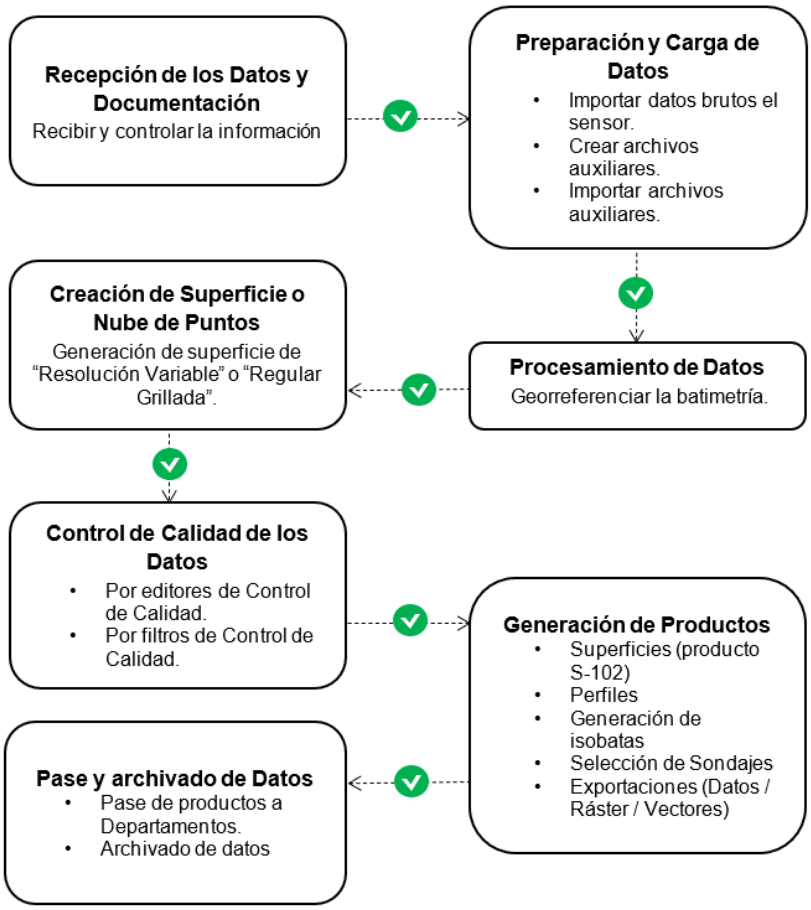


Figura 6.1: Diagrama de flujo de trabajo sintético del procesamiento de datos crudos de una batimetría. Fuente: SHN, 2023.

Primeramente, se reciben y controlan todos los datos relevados junto con su documentación, como, por ejemplo, informes técnicos, proyectos de campaña, los datos crudos de la batimetría, la marea observada y corregida, las calibraciones, etc. Para así poder comenzar con la preparación y carga, donde se realizan las verificaciones de los datos mediante las líneas principales y las líneas de comprobación. También se identifican bajofondos, pendientes y otras características morfológicas del fondo que se puedan distinguir con los sondajes. Para luego cargar los datos brutos de los sensores importándolos al software de procesamiento.

Una vez cargados los datos, se procede con su procesamiento, combinando la información vertical con la información horizontal, produciendo datos georreferenciados. A los cuales se les aplican la corrección de velocidad del sonido, el cálculo de la marea y el cálculo de incertidumbre total propagada (TPU, Total Propagated Uncertainty). Generando así nube de puntos que puede ser una “Superficie de Resolución Variable” o una “Superficie Regular Grillada”.

Ya creada la superficie, la siguiente etapa es la de control de calidad de los datos. En este paso se procederá a utilizar editores de control de calidad y filtros de control de calidad. También, se verificará que los sondajes superpuestos estén en concordancia con las tolerancias fijadas por las normas establecidas por la OHI para levantamientos hidrográficos, garantizando de esta forma la mayor calidad del producto que se va a generar a partir de los datos procesados.

A partir de la nube de puntos conformada por los datos procesados, controlados y verificados, se podrá generar alguno de los siguientes productos: superficies o productos S-102, perfiles, generación de isobatas, selección de sondajes y exportaciones. Estos son los productos que últimamente se terminan archivando y pasando a otros departamentos.

6.3 Elaboración de los productos S-102

Se cargaron en el software BASE Editor versión 6.1 los 16 levantamientos de UKHO en formato CSAR conformados por redes irregulares trianguladas (TIN, Triangulated Irregular Network) con sus datos procesados, controlados y verificados.

En la figura 6.2 se puede observar cómo se representa la TIN del levantamiento Id 1, como una malla de triángulos irregulares con su color asociado a la profundidad y con una línea negra que marca su límite.

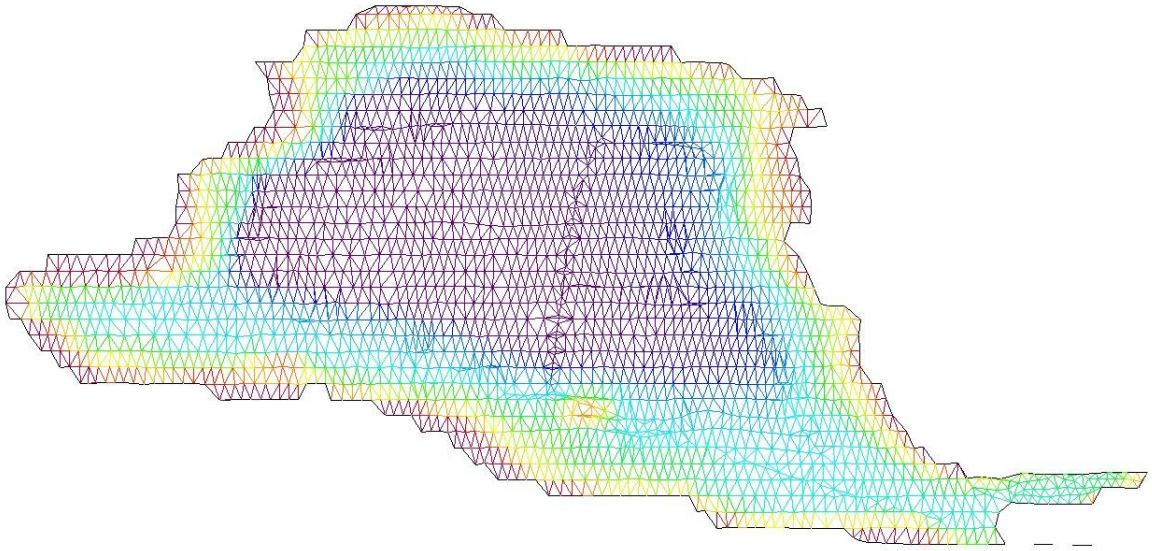


Figura 6.2: Visualización 2D de una TIN de Puerto Foster.

Una vez cargada la TIN, se procedió a interpolarla utilizando la herramienta de la figura 6.3, la cual requiere que se inserte la resolución y el método de interpolación.

La resolución se definió de manera particular para cada levantamiento, teniendo en cuenta su extensión, escala y la cantidad y distribución espacial de los datos disponibles. De esta manera, se procuró que el tamaño de celda fuera adecuado al nivel de detalle de cada conjunto de datos.

El método de interpolación elegido para todas las superficies generadas fue vecino natural, seleccionado por su capacidad para adaptarse localmente a la distribución de los datos y mantener los valores interpolados dentro del rango de las muestras utilizadas. Este método identifica y pondera un subconjunto de muestras de entrada dentro del área de interés para obtener el valor nodal final.

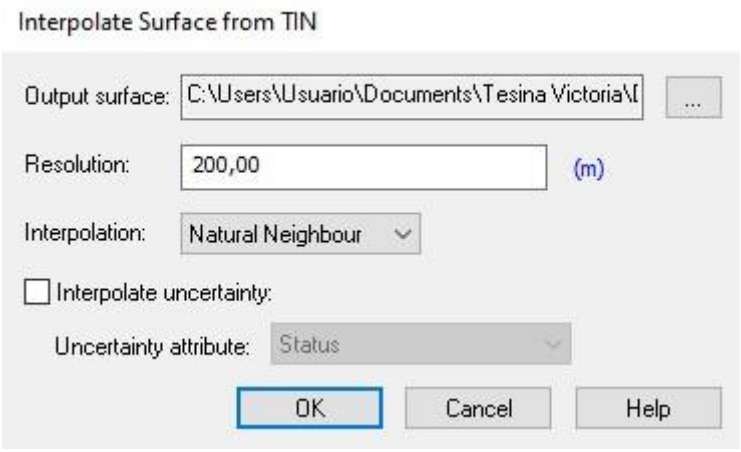


Figura 6.3: Herramienta de interpolación de TIN.

El archivo generado es un HDGB en formato CSAR. En la figura 6.4 se puede observar cómo se visualiza la grilla del levantamiento Id 1.

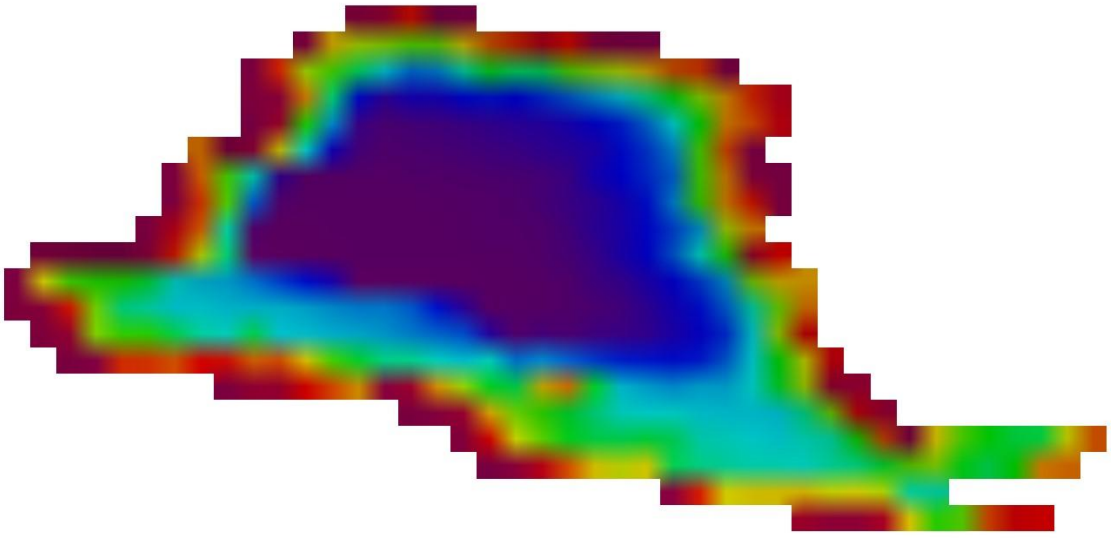


Figura 6.4: Visualización 2D de una grilla de Puerto Foster.

El último paso es convertir la grilla a un producto S-102 mediante la herramienta que se observa en la figura 6.5. Seleccionando la opción “Export Raster to S-102”, completando el resto, eligiendo el nombre final del producto y donde se va a guardar en formato HDF5.

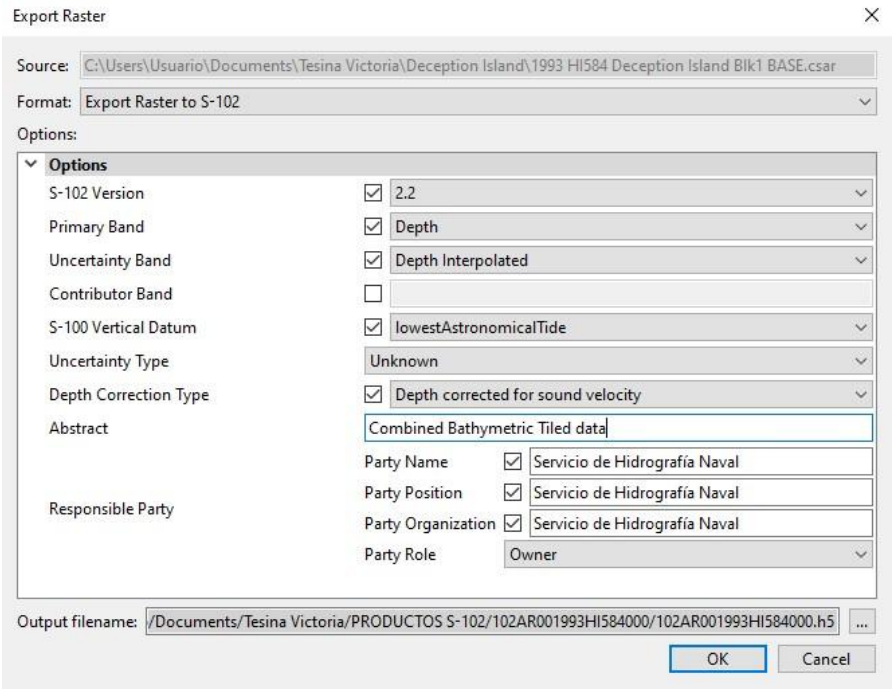


Figura 6.5: Herramienta de exportación de ráster a S-102.

En la figura 6.6 se pueden observar las exportaciones a S-102 de los 16 levantamientos y de la superficie elaborada con los levantamientos de la ENC, con los nombres elegidos para cada una según la nomenclatura del estándar S-102 anteriormente mencionada. Mientras que en la tabla 6.2 se puede observar el Id, la resolución y el nombre de archivo que corresponde a cada producto.

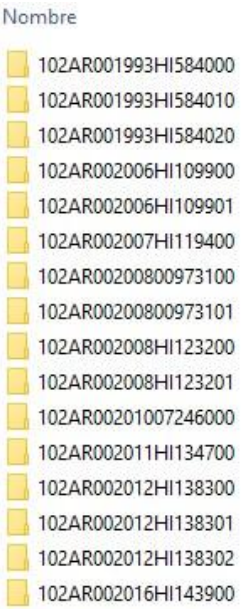


Figura 6.6: Exportaciones de los productos S-102 generados.

Id	Nombre de archivo CSAR	Producto S-102	Resolución
1	1993 HI584 Deception Island Blk1	102AR001993HI584000	50 m
2	1993 HI584 Deception Island Blk2	102AR001993HI584010	40 m
3	1993 HI584 Deception Island Blk3	102AR001993HI584020	20 m
4	2006 HI1099 Bransfield Strait South Shetlands	102AR002006HI109900	150 m
5	2006 HI1099 Deception Island	102AR002006HI109901	100 m
6	2007 HI1194 South Shetland Islands	102AR002007HI119400	200 m
7	2008 2008-009731 Gerlache Strait to North Robert Island	102AR00200800973100	300 m
8	2008 2008-009731 South Livingston Island	102AR00200800973101	200 m
9	2008 HI1232 Deception Island	102AR002008HI123200	10 m
10	2008 HI1232 South Shetland Islands	102AR002008HI123201	300 m
11	2010 2010-072460 South Shetland Islands	102AR00201007246000	300 m
12	2011 HI1347 South Shetland and South Orkney Islands	102AR002011HI134700	300 m
13	2012 HI1383 Deception Island 2m SB	102AR002012HI138300	10 m
14	2012 HI1383 Deception Island 4m SB	102AR002012HI138301	10 m
15	2012 HI1383 Deception Island 8m SB	102AR002012HI138302	10 m
16	2016 HI1439 Deception Island 8m SDTP	102AR002016HI143900	10 m

Tabla 6.2: Nombre y resolución utilizado para cada producto S-102.

Como se mencionó anteriormente la resolución se definió en función de la extensión y del volumen de información de cada levantamiento. Para los levantamientos de mayor cobertura se seleccionaron resoluciones espaciales más bajas, como los productos con Id 7, 10, 11 y 12, generados con una resolución de 300 m. En cambio, para los levantamientos de menor extensión se utilizaron resoluciones más altas, como en los productos con Id 9 y del 13 al 16, generados con una resolución de 10 m.

6.4 Elaboración del DEM para impresión 3D

Para la elaboración del Modelo Digital de Elevaciones se utilizaron los datos que componen la ENC AR407620 y se complementaron algunos de los sectores con poca información con los levantamientos realizados por UKHO.

En el software libre y de código abierto QGIS se compilaron todos los levantamientos en un mismo shapefile de puntos, donde cada punto representa un sondaje cuya profundidad se encuentra como un atributo en su tabla de atributos. También para que el sector de la isla quede plano, se extrajeron los puntos que conformaban la línea de costa de la ENC y se agregaron al shapefile como puntos de profundidad cero. En la figura 6.7 se puede observar la compilación de puntos junto con su tabla de atributos.

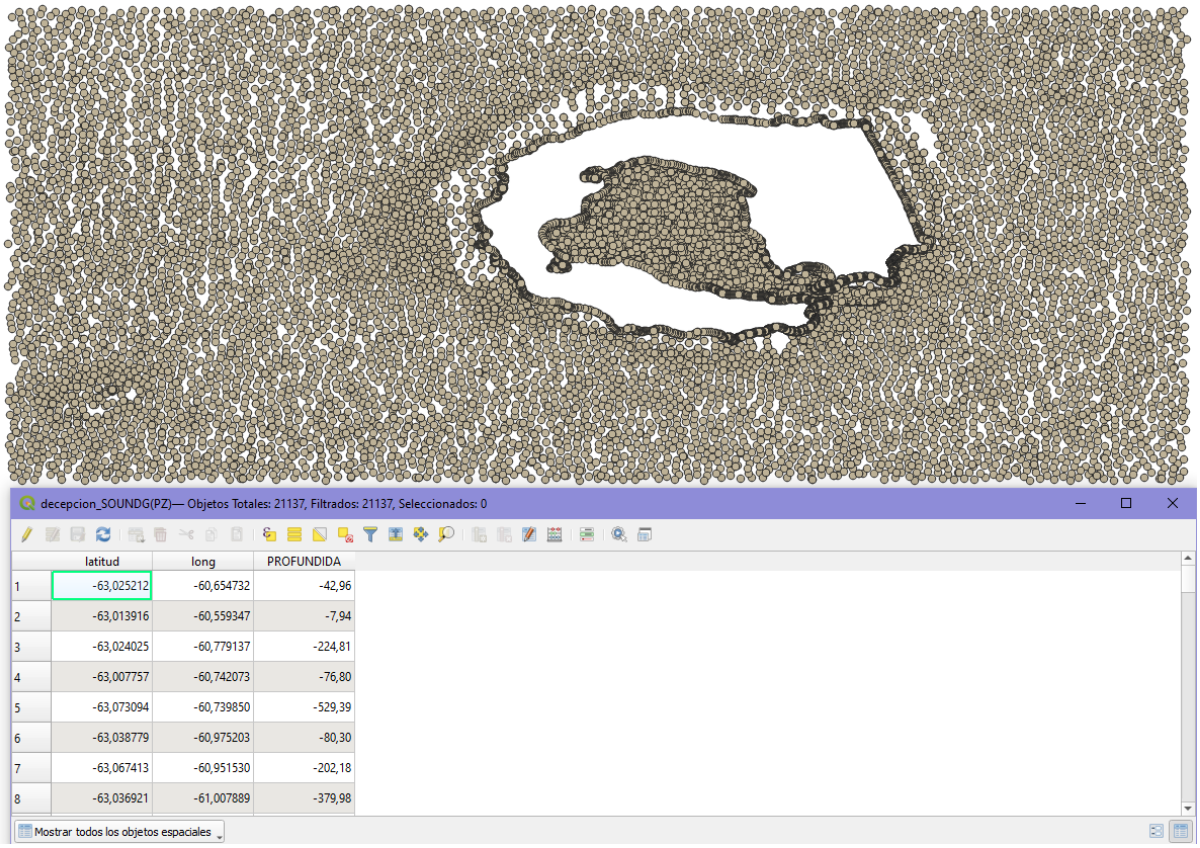


Figura 6.7: Nube de puntos utilizados para el DEM.

Luego se procedió a crear el DEM mediante la herramienta “Interpolación TIN”, que dio como resultado el DEM de la figura 6.8.

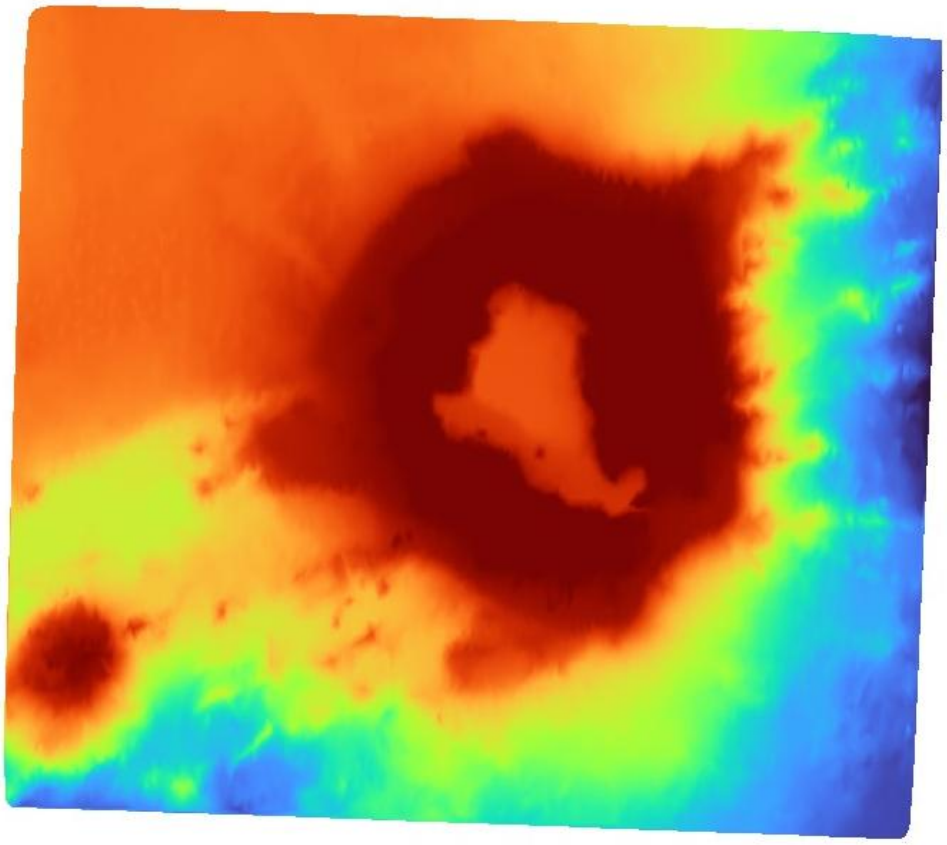


Figura 6.8: DEM compuesto por compilación de levantamientos.

Se exportó el DEM en la proyección WGS 84 / UTM Zona 20S (EPSG: 32720) para guardarlo como una imagen en formato GeoTIFF.

Desde la pestaña de complementos de QGIS se instaló el complemento llamado “DEMto3D”, que permite exportar un DEM a un formato de impresión 3D denominado STL, que es un archivo que describe la geometría tridimensional de un objeto.

En la figura 6.9 se pueden observar los parámetros cargados en la herramienta. Se decidió que la impresión tenga un ancho de 190mm y una exageración vertical de 15 para poder apreciar mejor el relieve. La escala (1:183.370), el largo (168,55mm) y la altura del modelo (72,3mm) lo calculó el programa en base al ancho y exageración vertical decidido.

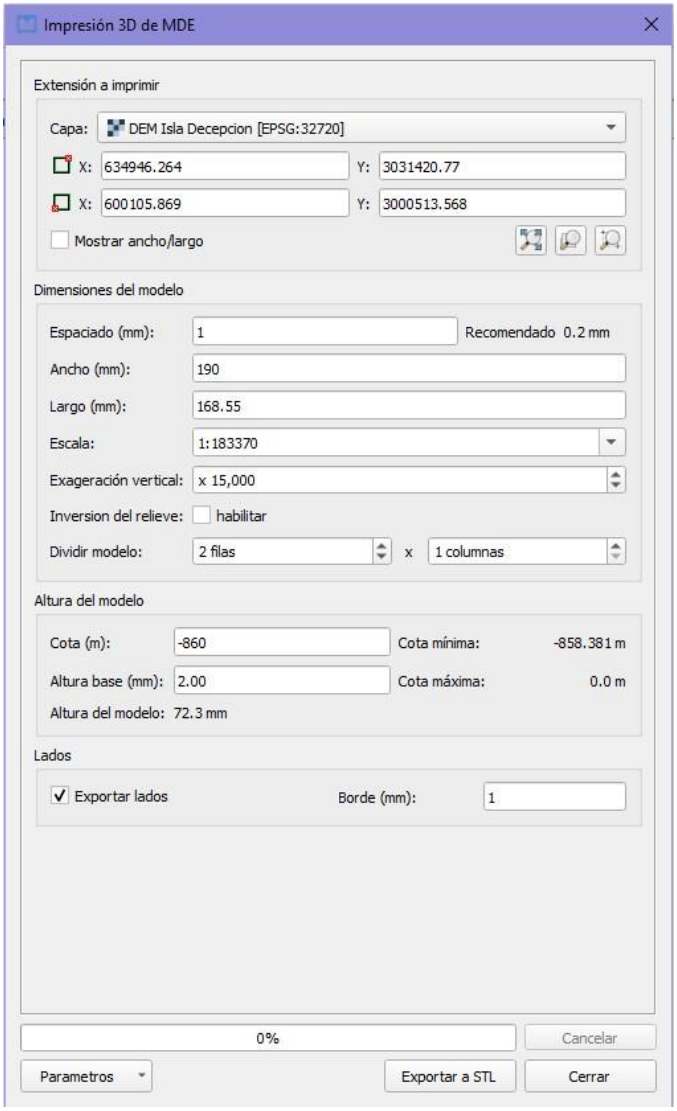


Figura 6.9: Parámetros para la exportación del archivo STL.

A continuación, se importó el archivo STL generado a Blender que es un software libre y de código abierto utilizado para crear, editar y renderizar modelos 3D. Una vez abierto, se procedió a renderizar el modelo, suavizando y mejorando su calidad para que posea una textura más real. También se lo volvió a escalar achicando un poco sus medidas y se cortó en dos partes para facilitar el proceso de impresión 3D.

En la figura 6.10 se puede observar el modelo cortado visualizado desde Blender. La línea que pasa por el medio del modelo es la línea que lo divide.

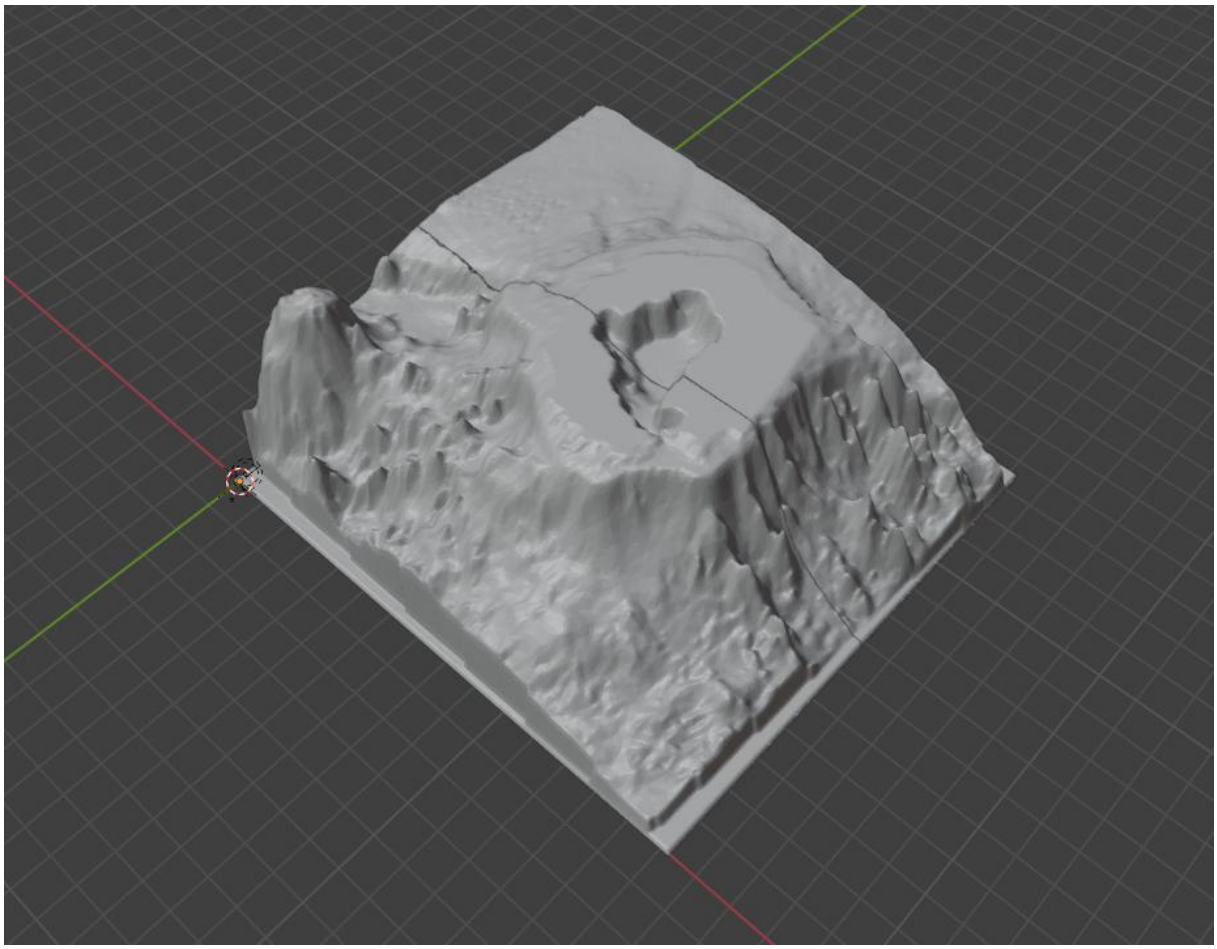


Figura 6.10: Modelo cortado visualizado desde Blender.

7. RESULTADOS Y VISUALIZACIÓN

En este capítulo se presentarán los resultados, visualizando los productos S-102 obtenidos con una ENC S-57 de base.

En la figura 7.1 se observa el producto 102AR001993HI584000 del levantamiento Id 1 de Puerto Foster, realizado con ecosonda monohaz en 1993, con la ENC AR407620 de base, una resolución de 50 m y un rango de profundidad de -0,1 a 162,8 según la escala cromática. Debe tenerse en cuenta que las escalas cromáticas utilizadas no se encuentran unificadas entre las distintas figuras, ya que fueron ajustadas de acuerdo con el rango de profundidad de cada producto.

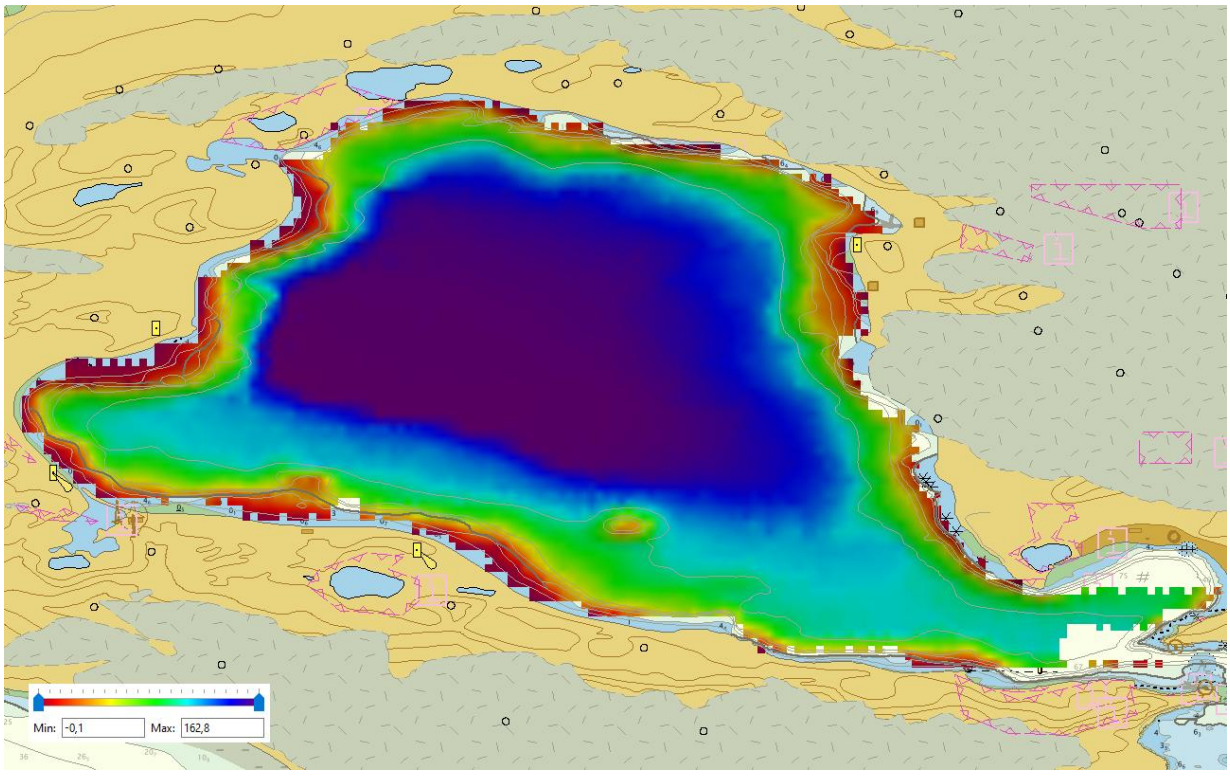


Figura 7.1: Visualización del producto 102AR001993HI584000 (Id 1).

Se puede observar el producto 102AR001993HI584010 del levantamiento Id 2 de los Fuelles de Neptuno en la figura 7.2, con la ENC AR407620 de base. El levantamiento fue realizado en 1993 con ecosonda monohaz, posee una resolución de 40 m y un rango de profundidad de 0,8 a 266.

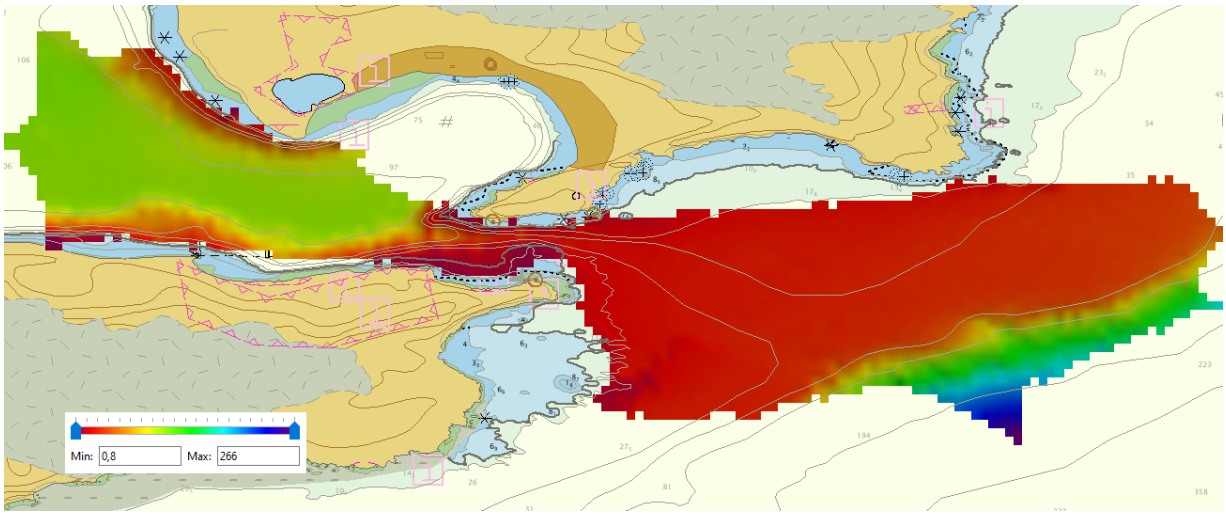


Figura 7.2: Visualización del producto 102AR001993HI584010 (Id 2).

En la figura 7.3 se puede observar el producto 102AR001993HI584020 del levantamiento Id 3 de Banco Stacy, realizado con ecosonda monohaz en 1993, con la ENC AR407620 de base, una resolución de 20 m y un rango de profundidad de 0,9 a 148,6 según la escala cromática.

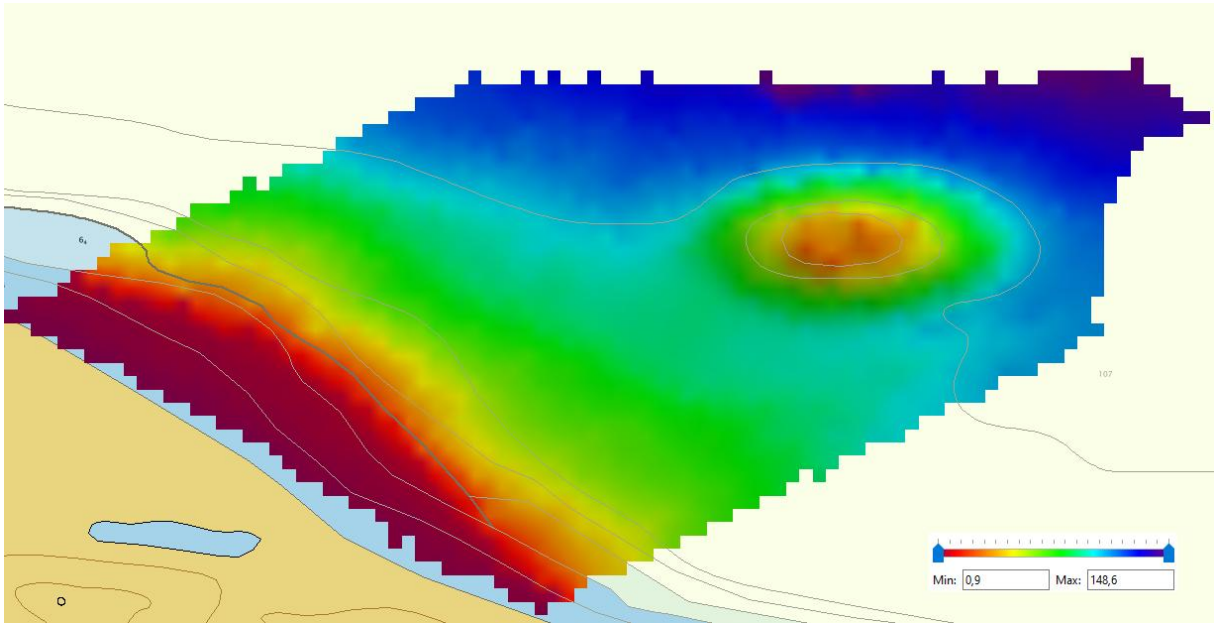


Figura 7.3: Visualización del producto 102AR001993HI584020 (Id 3).

Se puede observar el producto 102AR002006HI109900 del levantamiento Id 4 del sur de las Islas Shetland del Sur en la figura 7.4, con las ENC AR10H500 y AR10H600 de base. El levantamiento fue realizado en 2006 con ecosonda multihaz, posee una resolución de 150 m y un rango de profundidad de 0,8 a 1151,1.

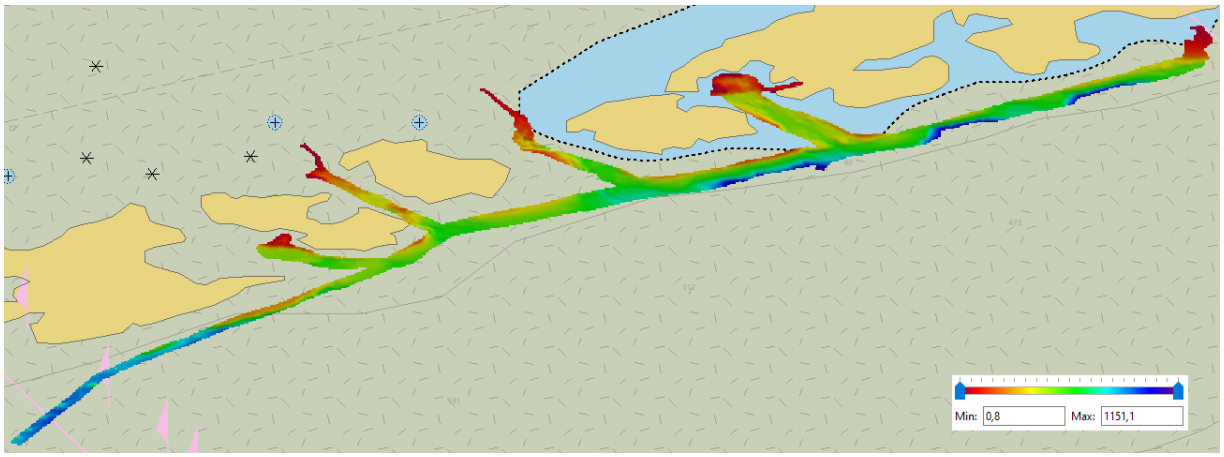


Figura 7.4: Visualización del producto 102AR002006HI109900 (Id 4).

En la figura 7.5 se puede observar el producto 102AR002006HI109901 del levantamiento Id 5 del acceso a Puerto Foster, realizado con ecosonda multihaz en 2006, con la ENC AR407620 de base, una resolución de 100 m y un rango de profundidad de 13,9 a 827,7.

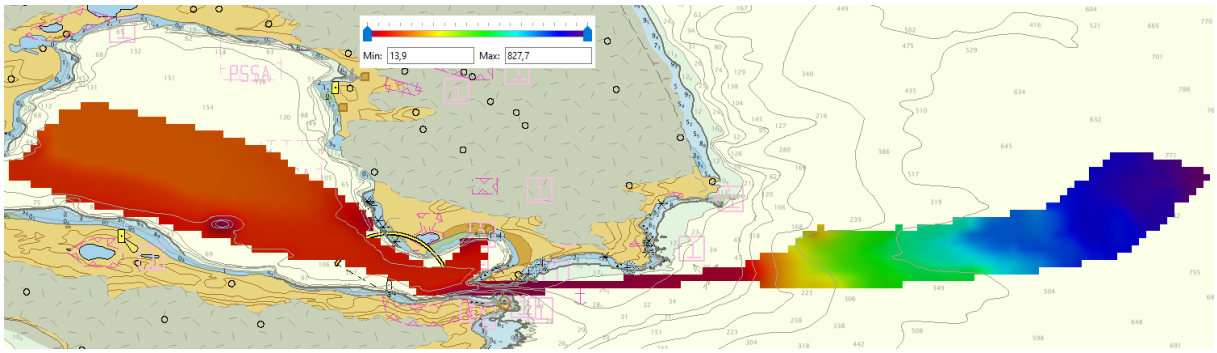


Figura 7.5: Visualización del producto 102AR002006HI109901 (Id 5).

Se puede observar el producto 102AR002007HI119400 del levantamiento Id 6 de la Isla Decepción y el Mar de la Flota en la figura 7.6, con las ENC AR10H500 y AR10H600 de base. El levantamiento fue realizado en 2007 con ecosonda multihaz, posee una resolución de 200 m y un rango de profundidad de 24,6 a 1040,5.

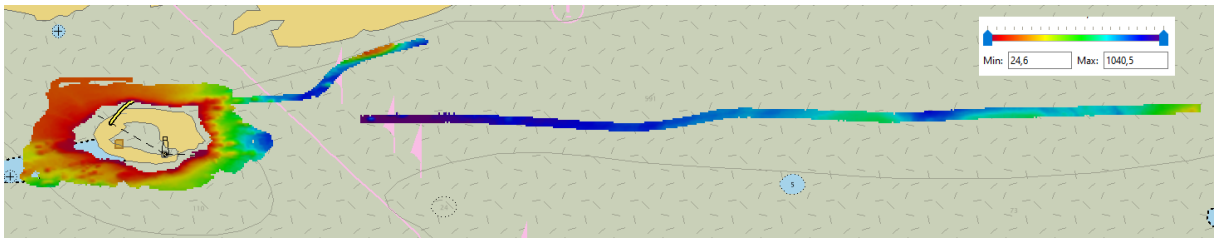


Figura 7.6: Visualización del producto 102AR002007HI119400 (Id 6).

En la figura 7.7 se puede observar el producto 102AR00200800973100 del levantamiento Id 7 del Estrecho de Gerlache y las Islas Shetland del Sur, realizado con ecosonda multihaz en 2008, con las ENC AR10H500 y AR10H600 de base, una resolución de 300 m y un rango de profundidad de 19 a 1155,8.

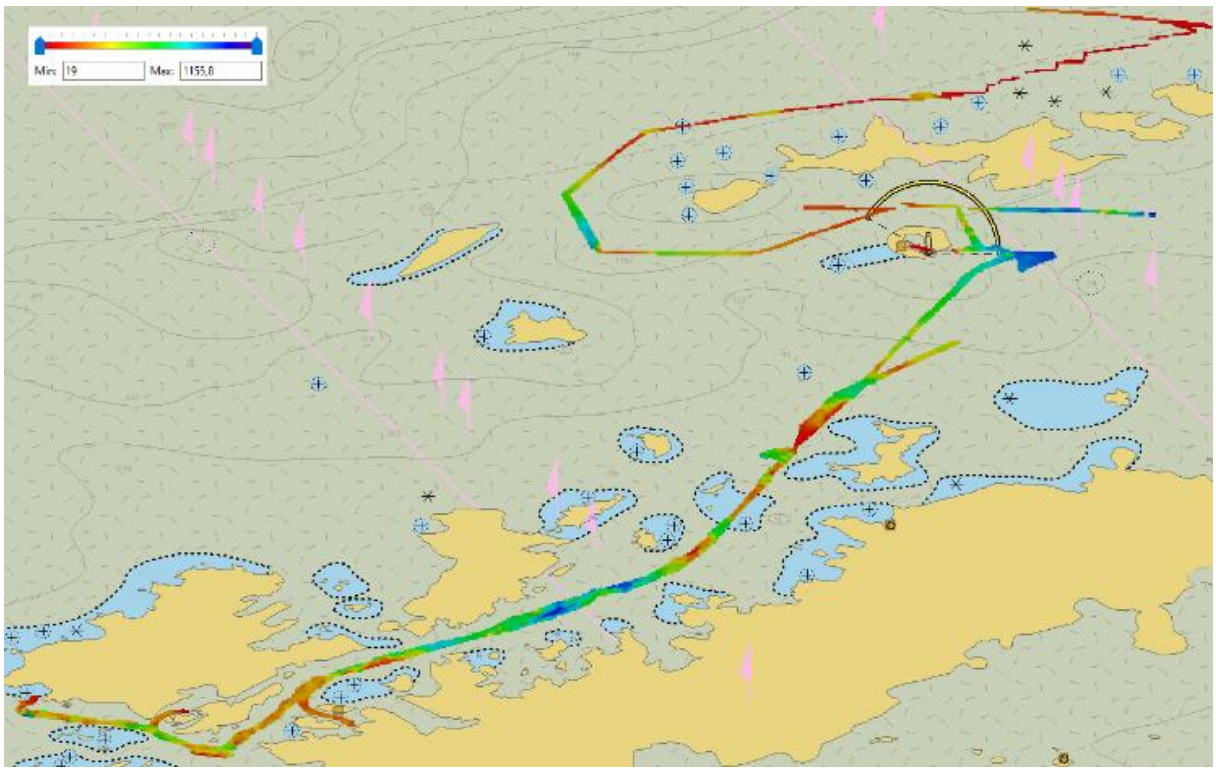


Figura 7.7: Visualización del producto 102AR00200800973100 (Id 7).

Se puede observar el producto 102AR00200800973101 del levantamiento Id 8 del norte de la Isla Decepción y el sur de la Isla Livingston en la figura 7.8, con las ENC AR10H500 y AR10H600 de base. El levantamiento fue realizado en 2008 con ecosonda multihaz, posee una resolución de 200 m y un rango de profundidad de 151,8 a 917,7.

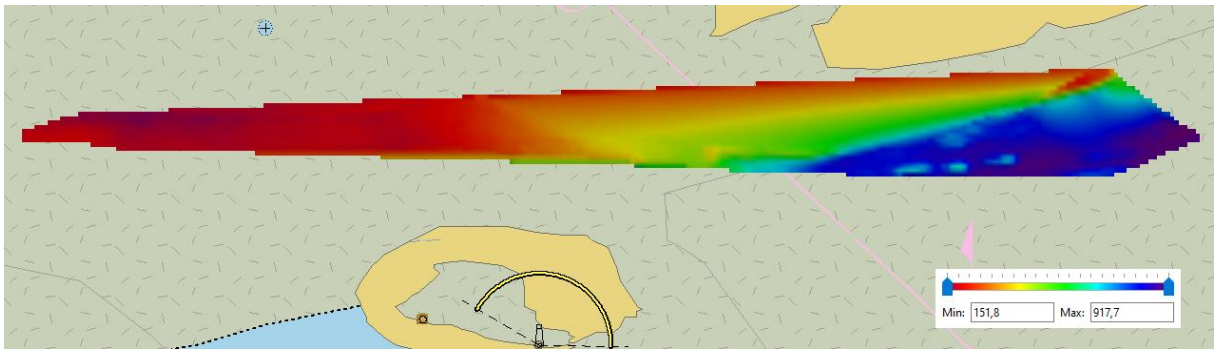


Figura 7.8: Visualización del producto 102AR00200800973101 (Id 8).

En la figura 7.9 se puede observar el producto 102AR002008HI123200 del levantamiento Id 9 de los Fuelles de Neptuno y Caleta Balleneros, realizado con ecosonda monohaz en 2008, con la ENC AR407620 de base, una resolución de 10 m y un rango de profundidad de 0 a 107,8.

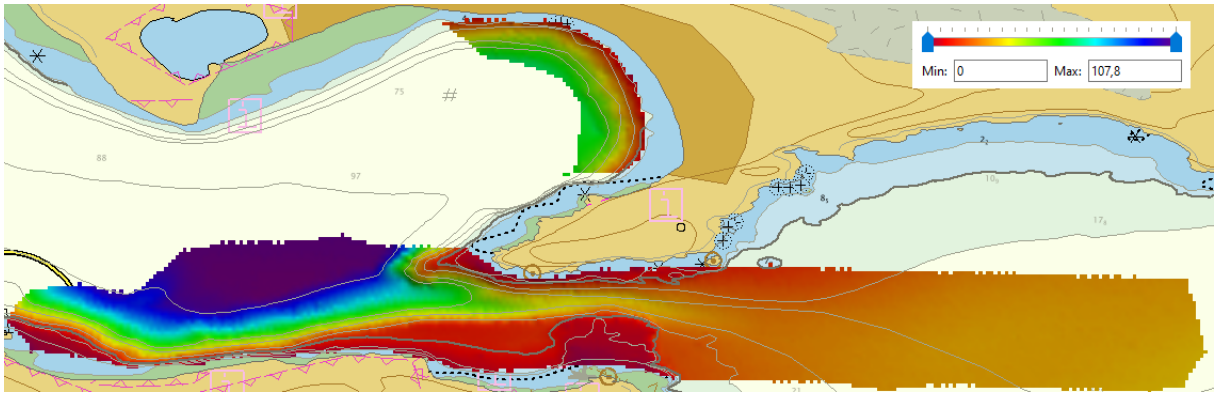


Figura 7.9: Visualización del producto 102AR002008HI123200 (Id 9).

Se puede observar el producto 102AR002008HI123201 del levantamiento Id 10 del norte de la Isla Decepción y el sur de la Isla Livingston en la figura 7.10, con las ENC AR10H500 y AR10H600 de base. El levantamiento fue realizado en 2008 con ecosonda multihaz, posee una resolución de 300 m y un rango de profundidad de 94,7 a 449,2.

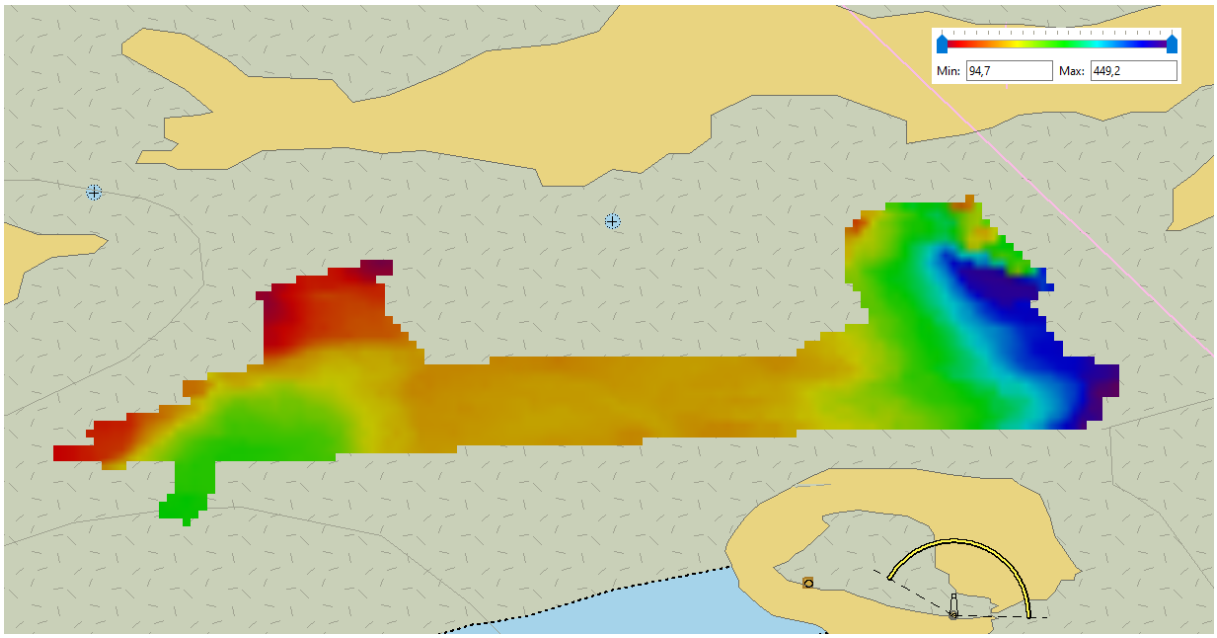


Figura 7.10: Visualización del producto 102AR002008HI123201 (Id 10).

En la figura 7.11 se puede observar el producto 102AR00201007246000 del levantamiento Id 11 del Mar de la Flota, el Estrecho Larrea y el Estrecho Bismarck, realizado con ecosonda multihaz en 2010, con las ENC AR10H500 y AR10H600 de base, una resolución de 300 m y un rango de profundidad de 158,5 a 1542,6.

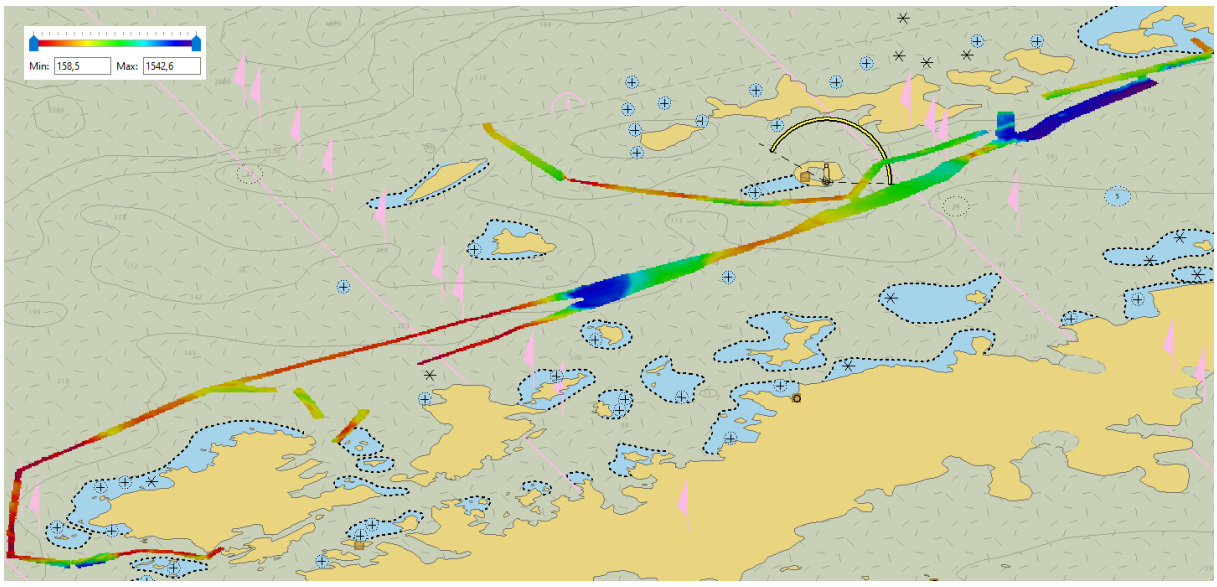


Figura 7.11: Visualización del producto 102AR00201007246000 (Id 11).

Se puede observar el producto 102AR002011HI134700 del levantamiento Id 12 del Mar de la Flota, las Islas Orcadas del Sur y el Estrecho de Gerlache en la figura 7.12, con las ENC AR10H500 y AR10H600 de base. El levantamiento fue realizado en 2011

con ecosonda multihaz, posee una resolución de 300 m y un rango de profundidad de 63,4 a 3231,4.

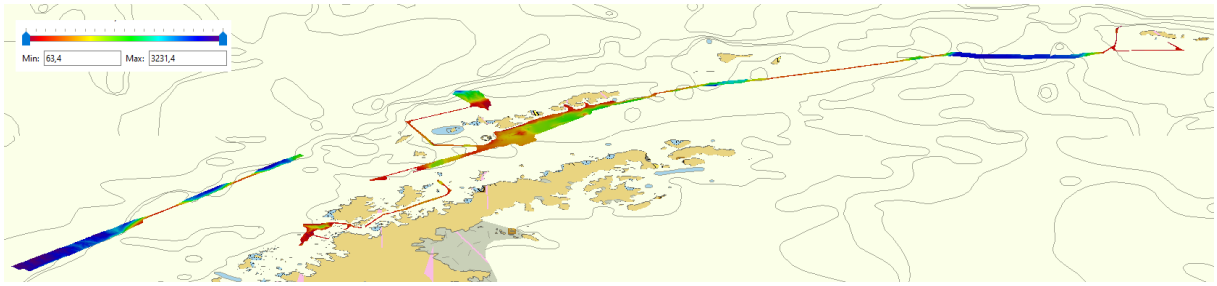


Figura 7.12: Visualización del producto 102AR002011HI134700 (Id 12).

En la figura 7.13 se puede observar el producto 102AR002012HI138300 del levantamiento Id 13 de los Fuelles de Neptuno y Caleta Balleneros, realizado con ecosonda multihaz en 2012, con la ENC AR407620 de base, una resolución de 10 m y un rango de profundidad de 0,5 a 40.

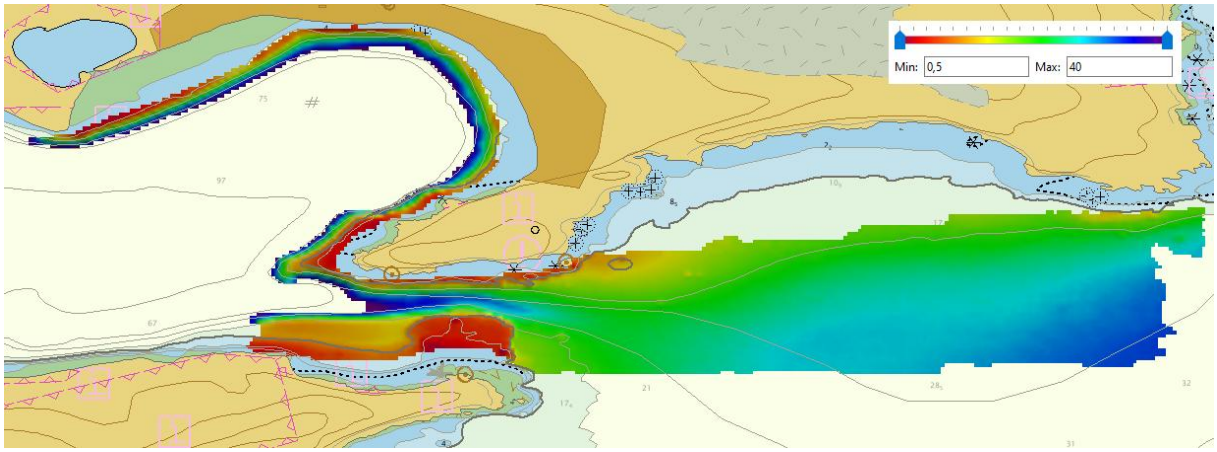


Figura 7.13: Visualización del producto 102AR002012HI138300 (Id 13).

Se puede observar el producto 102AR002012HI138301 del levantamiento Id 14 de Caleta Balleneros en la figura 7.14, con la ENC AR407620 de base. El levantamiento fue realizado en 2012 con ecosonda multihaz, posee una resolución de 10 m y un rango de profundidad de 38 a 80.

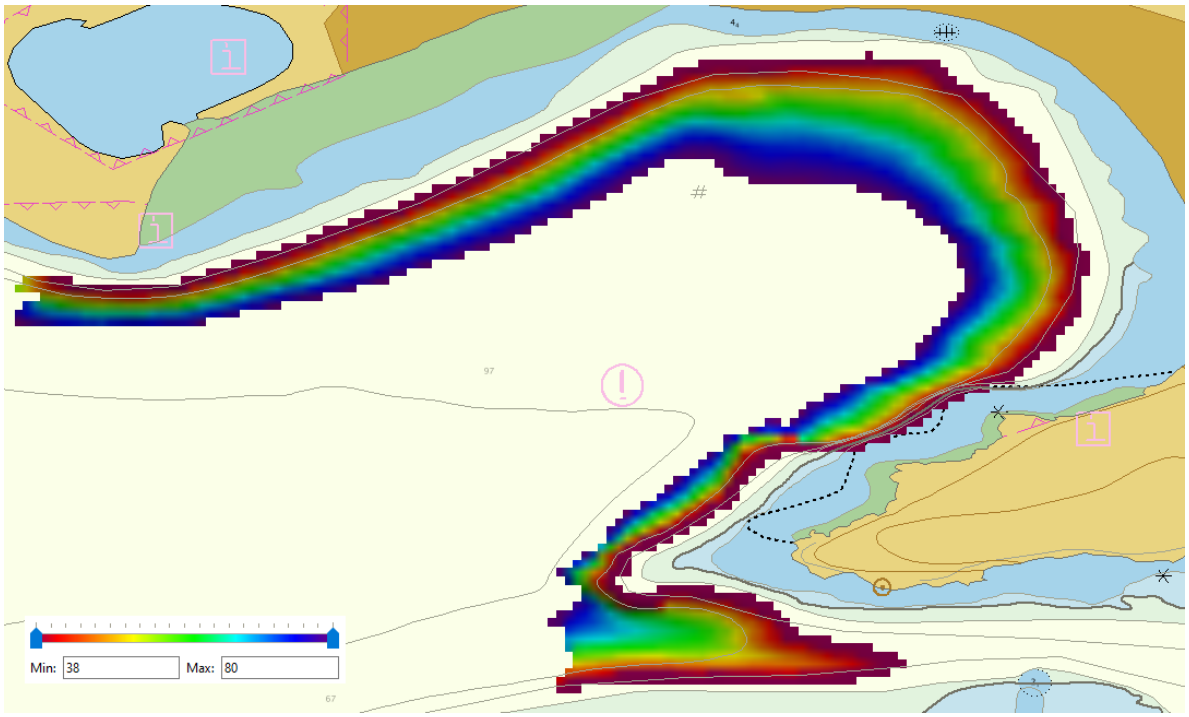


Figura 7.14: Visualización del producto 102AR002012HI138301 (Id 14).

En la figura 7.15 se puede observar el producto 102AR002012HI138302 del levantamiento Id 15 de Caleta Balleneros, realizado con ecosonda multihaz en 2012, con la ENC AR407620 de base, una resolución de 10 m y un rango de profundidad de 78 a 106,6.

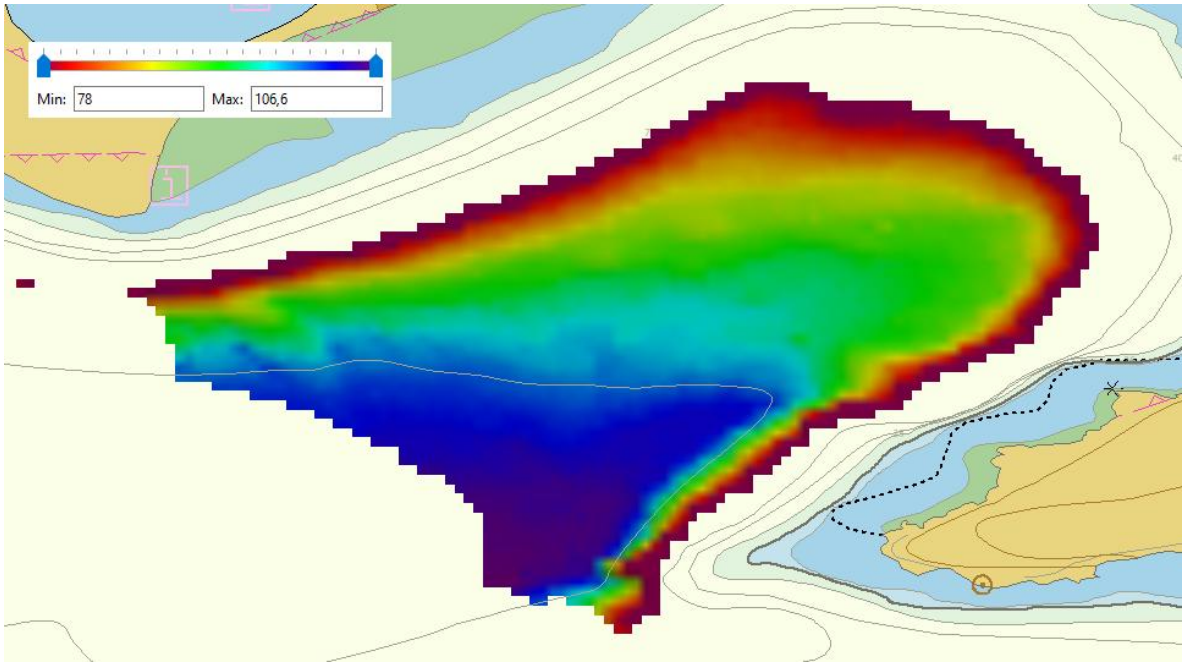


Figura 7.15: Visualización del producto 102AR002012HI138302 (Id 15).

Por último, se puede observar el producto 102AR002016HI143900 del levantamiento Id 16 de Caleta Balleneros en la figura 7.16, con la ENC AR407620 de base. El levantamiento fue realizado en 2016 con ecosonda multihaz, posee una resolución de 10 m y un rango de profundidad de 7,3 a 343,3.

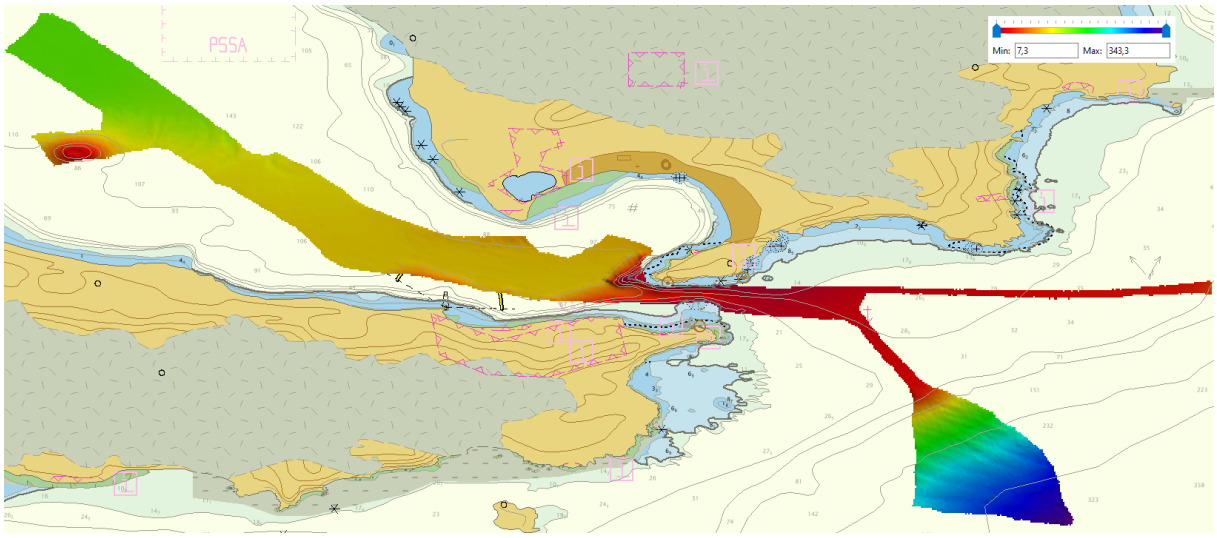


Figura 7.16: Visualización del producto 102AR002016HI143900 (Id 16).

En términos generales, los 16 productos presentan diferencias importantes en sus rangos de profundidad y resoluciones, relacionadas principalmente con los sectores representados y la extensión de cada levantamiento. En la tabla 7.1 se presenta una síntesis de las características de los productos S-102 obtenidos.

Id	Zona	Tipo de ecosonda	Profundidad mínima (m)	Profundidad máxima (m)	Amplitud batimétrica (m)	Resolución (m)
1	Puerto Foster	Ecosonda monohaz	-0,1	162,8	162,9	50
2	Fuelles de Neptuno	Ecosonda monohaz	0,8	266	265,2	40
3	Banco Stacy	Ecosonda monohaz	0,9	148,6	147,7	20
4	Sur de las Islas Shetland del Sur	Ecosonda multihaz	0,8	1151,1	1150,3	150
5	Acceso a Puerto Foster	Ecosonda multihaz	13,9	827,7	813,8	100
6	Isla Decepción y Mar de la Flota	Ecosonda multihaz	24,6	1040,5	1015,9	200
7	Estrecho de Gerlache, Isla Decepción y Mar de la Flota	Ecosonda multihaz	19	1155,8	1136,8	300
8	Norte de la Isla Decepción y sur de Isla Livingston	Ecosonda multihaz	151,8	917,7	765,9	200
9	Fuelles de Neptuno y Caleta Balleneros	Ecosonda monohaz	0	107,8	107,8	10
10	Norte de la Isla Decepción y sur de Isla Livingston	Ecosonda multihaz	94,7	449,2	354,5	300
11	Mar de la Flota, Estrecho Larrea y Estrecho Bismarck	Ecosonda multihaz	158,5	1542,6	1384,1	300
12	Mar de la Flota, Islas Orcadas del Sur y Estrecho de Gerlache	Ecosonda multihaz	63,4	3231,4	3168	300
13	Fuelles de Neptuno y Caleta Balleneros	Ecosonda multihaz	0,5	40	39,5	10
14	Caleta Balleneros	Ecosonda multihaz	38	80	42	10
15	Caleta Balleneros	Ecosonda multihaz	78	106,6	28,6	10
16	Acceso a Puerto Foster	Ecosonda multihaz	7,3	343,3	336	10

Tabla 7.1: Síntesis de las características de los productos S-102 obtenidos.

Las superficies correspondientes a zonas próximas a la Isla Decepción presentan, en su mayoría, profundidades menores y resoluciones espaciales más altas, entre 10 y 100 m. En cambio, los productos que abarcan sectores más extensos, como el Mar de la Flota, el Estrecho de Gerlache y las Islas Orcadas del Sur, alcanzan profundidades superiores a los 1.000 m y fueron generados con resoluciones más bajas, de entre 150 y 300 m. El producto del levantamiento Id 12, con una resolución

de 300 m, presenta la mayor amplitud batimétrica, de 3.168 m, con profundidades comprendidas entre 63,4 y 3.231,4 m. Por el contrario, el producto Id 15, con una resolución de 10 m, presenta la menor amplitud, de 28,6 m, con profundidades entre 78 y 106,6 m. Estas diferencias reflejan la diversidad de profundidades, extensiones y niveles de detalle representados por las superficies generadas.

Asimismo, se identificaron pares de productos con superposición geográfica que permiten realizar una comparación preliminar. En los Fuelles de Neptuno y Caleta Balleneros, los productos Id 9 e Id 13 comparten parte de la misma zona, aunque presentan extensiones diferentes. El producto Id 9, correspondiente a un levantamiento monohaz de 2008, posee una resolución de 10 m y profundidades de entre 0 y 107,8 m, mientras que el producto Id 13, obtenido mediante ecosonda multihaz en 2012, presenta la misma resolución y profundidades de entre 0,5 y 40 m. La coincidencia en la resolución facilita su comparación espacial; sin embargo, las diferencias en la extensión, el método y el año de adquisición deben considerarse al interpretar sus distintos rangos batimétricos.

En el sector situado al sur de la isla Livingston, los productos Id 8 e Id 10, ambos correspondientes a levantamientos realizados en 2008 con ecosonda multihaz, también comparten parte de la misma zona geográfica, aunque poseen extensiones diferentes. El producto Id 8 presenta una resolución de 200 m y profundidades de entre 151,8 y 917,7 m, mientras que el producto Id 10 posee una resolución de 300 m y profundidades de entre 94,7 y 449,2 m. En este caso, las diferencias en la extensión y la resolución generan distintos niveles de detalle y generalización, por lo que deben tenerse en cuenta al comparar los rangos de profundidad de ambas superficies.

Una vez terminado el modelo 3D en el software Blender, se imprimió en una impresora 3D, empleando la tecnología de fabricación aditiva. En la figura 7.17 pueden observarse imágenes del resultado final. Es importante recordar que posee una exageración vertical de 15, es decir que las variaciones de altura y profundidad se representan quince veces ampliadas respecto de la escala horizontal.



Figura 7.17: Modelo 3D impreso.

8. CONCLUSIONES

En el desarrollo de esta tesina se logró comprender la evolución de los estándares hidrográficos utilizados en la cartografía náutica, así como la incorporación de nuevas tecnologías para la producción y visualización de información hidrográfica. A lo largo del trabajo se expusieron las diferencias entre los estándares S-57 y S-100, haciendo especial énfasis en el producto S-102, cuya implementación representa un avance en la representación, actualización y disponibilidad de la información batimétrica.

Se logró conocer en detalle el origen, las características y la calidad de la información utilizada para la generación de las superficies batimétricas. Se analizaron 16 levantamientos batimétricos realizados por UKHO en distintos años y condiciones, abarcando diferentes zonas de la Isla Decepción y sus alrededores. Se evaluaron los métodos de levantamiento, de posicionamiento, la escala, el datum y la zona cubierta por cada levantamiento, permitiendo establecer un diagnóstico de las fuentes y de los datos.

El procesamiento de los levantamientos batimétricos mediante el uso de herramientas especializadas como el software CARIS BASE Editor permitió generar 16 productos S-102 individuales. Cada uno de estos productos constituye una representación batimétrica de la zona correspondiente, elaborada de acuerdo con los requisitos de un modelo HDGB. No obstante, el nivel de detalle y la calidad de las superficies varían según la antigüedad, la metodología y las características de los datos de origen. Los productos generados permiten representar y visualizar la morfología del fondo marino con mayor detalle que la información batimétrica disponible en las cartas náuticas electrónicas utilizadas como referencia.

Una de las principales limitaciones de este trabajo fue que las herramientas disponibles no permitieron exportar los productos a la versión operativa más reciente del estándar S-102, por lo que se utilizó una edición anterior. Además, no se empleó una herramienta específica para validar los productos generados. Como trabajo futuro, se propone actualizar los productos a la versión operativa, someterlos a los controles de validación correspondientes e incorporar datos de incertidumbre asociados a las profundidades. Asimismo, se plantea evaluar su integración con otros productos S-100 en un ECDIS compatible.

En conclusión, se ha logrado cumplir con los objetivos propuestos inicialmente: analizar las características e importancia de la Isla Decepción, explorar los estándares cartográficos internacionales S-57 y S-101, desarrollar algunas utilidades de los productos S-100, describir la metodología detrás de la obtención, el procesamiento y el manejo de datos de los productos S-102 obtenidos y visualizar los resultados con un producto ENC S-57 superpuesto.

BIBLIOGRAFÍA

- Antolino Ibáñez, A. (2015). La Cartografía Náutica Antigua como Fuente de Información para la Investigación Histórica: Semiología Documental y Recuperación de Conocimiento. Universidad de Murcia.

- Ballestero Mora, L., & García Sala, D. (2010). Estudio batimétrico con ecosonda multihaz y clasificación de fondos. Universitat Politècnica de Catalunya.

- Biblioteca Digital Hispánica. (s.f.). Cartas Portulanas. Recuperado el 7 de julio, 2025, de https://tinyurl.com/BibliotecaDigitalHispanica

- Catálogo de Objetos S-57. (s.f.). Recuperado el 7 de julio, 2025 de https://www.teledynecaris.com/s-57/frames/S57catalog.htm

- Cove, K.; Lavoie, F. (2014). Addressing the Need for a Bathymetric Data Management System.

- Escudero, J. F. J. (2018). Introducción a las normas S-100 y sus publicaciones derivadas. Escuela de Ciencias del Mar.

- Fellinger, C. (2010). CSAR: A new approach for handling high volume bathymetry. Australia. FIG Congress 2010: Facing the Challenges – Building the Capacity, Sydney, Australia. International Federation of Surveyors (FIG).

- Fontán, A., Albarracín, S., & Alcántara-Carrió, J. (2009). Estudios de erosión en costas sedimentarias mediante GPS diferencial y ecosondas monohaz / multihaz. Instituto de Medio Ambiente y Ciencia Marina, Universidad Católica de Valencia.

- Giménez Soler, M. L. (1992). Un portulano de Joan Martines. Instituto Interuniversitario de Geografía.

- Kuwalek, E., Maltais, L., & Journault, M. (2012). The new IHO S-102 standard: Charting a new frontier for bathymetry. International Hydrographic Review, November 2012.

- López, M. I. (2023). Obtención de planos de reducción de sondajes en el Mar Argentino para cartas náuticas a partir de datos mareográficos y constantes armónicas del Centro de estudios Topográficos del Océano y la Hidrosfera. Universidad de la Defensa Nacional, Escuela de Ciencias del Mar, Licenciatura en Cartografía.

- Losada, M. Y. (2017). Producción de la Carta Náutica Electrónica y Carta Náutica Papel correspondientes a la Boca del Golfo San José a través de Base de Datos de Producción Hidrográfica. Universidad de la Defensa Nacional, Escuela de Ciencias del Mar, Licenciatura en Cartografía.

- Maritime Simulation and Resource Center. (2020). S-102 Bathymetric Surface Product. Recuperado el 7 de julio, 2025 de https://sim-pilot.com/

- Ministerio de Defensa de España. (s.f.). Base Gabriel de Castilla. Recuperado el 7 de julio, 2025 de https://tinyurl.com/MinDefEsp

- OHI. (s.f.). Sobre la OHI. Recuperado el 7 de julio, 2025 de https://iho.int/en/about-the-iho

- OHI. (1996). S-32, Diccionario Hidrográfico. Versión Española de la Quinta Edición de la 10° Parte Volumen I. Mónaco.

- OHI. (2005). Manual on Hydrography (Publication C-13, 1st ed.). International Hydrographic Bureau.

- OHI. (2017). S-65, Guía de los requisitos y procedimientos necesarios para producir, mantener y distribuir ENCs (Edición 2.1.0).

- OHI. (2020). S-67, Guía de los navegantes sobre la exactitud de las cartas náuticas electrónicas (ENC) (Edición 1.0.0).

- OHI. (2022). S-44, Normas de la Organización Hidrográfica Internacional para los Levantamientos Hidrográficos (Edición 6.1.0).

- OHI. (2023a). S-104, Water Level Information for Surface Navigation Product Specification (Edition 1.1.0).

- OHI. (2023b). S-111, Surface Currents Product Specification (Edition 1.2.0).

- OHI. (2023c). S-129, Under Keel Clearance Management Information Product Specification (Edition 1.1.0).

- OHI. (2024a). Anuario 7 Mayo, 2024. Principado de Mónaco.

- OHI. (2024b). S-102, Bathymetric Surface Product Specification. (Edition 3.0.0) Principado de Mónaco.

- OHI. (2024c). S-100, Universal Hydrographic Data Model. (Ed. 5.2.0) Principado de Mónaco.

- OHI. (2024d). IHO Geospatial Information Registry. Recuperado el 7 de julio, 2025 de https://registry.iho.int/main.do

- Olaya, V. (2016). Sistemas de Información Geográfica (SIG): Conceptos, metodologías y aplicaciones. Esic Editorial.

- OMI. (s.f.). E-navigation. Recuperado el 7 de julio, 2025 de https://www.imo.org/es/OurWork/Safety/Paginas/eNavigation.aspx

- Powell, J. (2011). The New Electronic Chart Product Specification S-101: An Overview. TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Volume 5, Number 2, June 2011. National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, United States.

- Puertas Mosquera, C. (2010). La cartografía y la navegación: Cartas náuticas y derroteros. Universidad de Santiago de Compostela.

- Secretaría de Cultura de España. (s.f.). Carta Portulana Medieval. Recuperado el 7 de julio, 2025 de https://tinyurl.com/SecretariaDeCulturaEspanola

- Secretaría del tratado antártico. (2005). Isla Decepción. Recuperado el 7 de julio, 2025 de https://www.ats.aq/devAS/Meetings/Measure/333?lang=e

- Secretaría del tratado antártico. (2019). Isla Decepción. Recuperado el 7 de julio, 2025 de https://www.ats.aq/devAS/Meetings/Measure?Length=5&id=691

- Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). (s.f.) Isla Decepción. Recuperado el 7 de julio, 2025 de https://oavv.segemar.gob.ar/monitoreo-volcanico/isla-decepcion/

- SHN. (s.f.). Glosario de Términos Utilizados. Recuperado el 7 de julio, 2025 de http://www.hidro.gov.ar/oceanografia/tmareas/Form_TMareas.asp?op=11

- SHN. (2021). Derrotero Argentino Parte V. Antártida y Archipiélagos Subantárticos Argentinos y Suplemento (Publicación H-205) (7ma ed.).

- SHN. (2023). Guía Para el Procesamiento Hidrográfico. Guía Hidrográfica N° HC4 01. (Versión 1.0).

- SHN. (2024). Tablas de Marea (Publicación H-610).

- Sinapi, L. (2022). The S-100 – Universal Hydrographic Data Model: A Revolutionary Approach to Nautical Cartography and Maritime Services.

- Teledyne CARIS. (s.f.). BASE Editor. Recuperado el 7 de julio, 2025 de https://www.teledynecaris.com/en/products/base-editor/

- Visible Earth NASA. (2017). Deception Island. Recuperado el 7 de julio, 2025 de https://tinyurl.com/DeceptionIslandNASA