

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

## Cruceros oceanográficos sobre una infraestructura de datos espaciales. Caso de estudio Colombia

### *Oceanographic cruises within a spatial data infrastructure. Colombia case study*

DOI: <https://doi.org/10.26640/22159045.2023.615> Fecha de recepción: 2023-05-18 / Fecha de aceptación: 2023-07-18

Ruby Viviana Ortiz-Martínez<sup>1</sup>, Diana Paulina Castañeda Rodríguez<sup>2</sup>, Moisés Abraham Santizo Fuentes<sup>3</sup>

#### CITAR COMO:

Ortiz-Martínez, R.; Castañeda, D. P.; Santizo, M. A. (2023). Cruceros oceanográficos sobre una infraestructura de datos espaciales. Caso de estudio Colombia. *Bol. Cient. CIOH*, 42(1): 27-38. ISSN en línea 2215-9045. DOI: <https://doi.org/10.26640/22159045.2023.615>

#### RESUMEN

Los cruceros oceanográficos y, en general, las expediciones científicas en el mar, constituyen un importante aporte a la memoria histórica de los inicios y evolución de la investigación científica marina; y en el marco del Decenio de las Ciencias Oceánicas, el acceso a los datos recopilados durante décadas apoyan el desarrollo sostenible del océano. Por esta razón, desde el Centro Colombiano de Datos Oceanográficos se llevó a cabo un proceso de arqueología y recuperación de datos e información de los cruceros oceanográficos realizados en el Pacífico y Caribe colombianos desde 1969 hasta el 2020. Posteriormente, se estructuró la información en la base de datos geográfica denominada Infraestructura de Datos Espaciales Marítima, Fluvial y Costera de Colombia. Además, se documentaron metadatos bajo un perfil del estándar ISO 19115 implementando buenas prácticas internacionales, y se desarrolló una aplicación software para facilitar la búsqueda de información geográfica y acceso abierto a las mediciones realizadas en sitio. Como resultado se dispuso la información de 130 cruceros oceanográficos (1969-2020), se recuperaron 96 informes técnicos de cruceros, se reconstruyeron 87 rutas de buques de investigación y se publicaron 130 metadatos, con la posibilidad de seguir alimentando el sistema con nuevos cruceros y expediciones científicas.

**PALABRAS CLAVES:** buque de investigación, reportes de expedición, datos oceanográficos, sistemas de información geográfica.

#### ABSTRACT

*Oceanographic cruises and scientific expeditions at sea in general, constitute an important contribution to the historical memory of the beginnings and evolution of marine scientific research, and within the framework of the Decade of Ocean Science, access to the data collected for decades support sustainable ocean development. For this reason, the Colombian Center for Oceanographic Data carried out a process of archeology and recovery of data and information from oceanographic cruises carried out in the Colombian Pacific and Caribbean from 1969 to 2020. Subsequently, the information was structured in a geographic database of the national Maritime, Fluvial and Coastal Spatial Data Infrastructure. In addition, metadata was documented under a profile of the ISO 19115 standard, implementing good international practices, and a software application was developed to facilitate the search for geographic information and open access to measurements made on site. As a result, information from 130 oceanographic*

<sup>1</sup> Orcid: 0000-0003-0264-6254. Administradora Cecoldo de la Dirección General Marítima. Carrera 54 No. 26-50, edificio Dimar, CAN. Correo electrónico: [rortiz@dimar.mil.co](mailto:rortiz@dimar.mil.co)

<sup>2</sup> Orcid: 0000-0002-8848-2600. Dirección General Marítima. Subdirección de Desarrollo Marítimo de la Dimar. Carrera 54 No. 26-50, edificio Dimar, CAN. Correo electrónico: [dcastanedar@dimar.mil.co](mailto:dcastanedar@dimar.mil.co)

<sup>3</sup> Orcid: 0009-0006-8986-7365. Investigadora Universidad Nacional de Colombia. Correo electrónico: [masantizof@unal.edu.co](mailto:masantizof@unal.edu.co)



*cruises (1969-2020) was available, 96 technical cruise reports were recovered, 87 track charts were reconstructed, and 130 metadata were published, with the possibility of continuing to feed the system with new cruises and scientific expeditions.*

**KEYWORDS:** *Research vessels. Expedition reports. Oceanographic data. Geographic information systems.*

## INTRODUCCIÓN

Entre 1969 y 1970 se efectuaron los primeros cruceros oceanográficos en el Caribe y Pacífico colombianos a bordo del buque ARC "San Andrés", a partir de la necesidad de adelantar un programa de investigación oceanográfico en el marco de la entonces Comisión Colombiana de Oceanografía, teniendo en cuenta la importancia científica y económica de los litorales del país, buscando conformar una infraestructura básica que contribuyera al conocimiento y a la explotación técnica y racional de los recursos del océano; todo esto basado en una estrecha coordinación de instituciones nacionales y la cooperación de organismos internacionales (ARC, 1970, 1971). Otros países de la región también iniciaron sus operaciones oceanográficas de envergadura para la misma época, como es el caso de Chile en 1960, utilizando la antigua corbeta Chipana de la Armada de Chile (Sievers, 2017), y Perú, que entre 1958 y 1963 inició un programa intensivo de monitoreo de las condiciones marinas hasta 150 millas de la costa a bordo del buque BAP "Bondy" (Zuta y Flores, 1980).

Todas estas actividades se desarrollaron en un contexto global bajo la coordinación de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco), a través del programa para el Intercambio Internacional de Datos e Información Oceanográfica, que implementó a finales de la década de 1960 un sistema de programas oceanográficos nacionales y el Informe de Observaciones/Muestras Recolectadas por Programas Oceanográficos (ROSCOP, por sus siglas en inglés), como una forma de compartir información sobre los cruceros de investigación planificados y realizados (Rickards, 2007).

El ROSCOP fue concebido en sus inicios como un inventario de primer nivel para el seguimiento de las mediciones y las muestras recopiladas en el mar a bordo de los buques de investigación, representando la mayoría de las disciplinas de

datos tales como oceanografía física, química y biológica, geología y geofísica marina, pesca, contaminantes marinos y meteorología marina. A finales de la década de 1980, el Consejo Internacional para la Exploración del Mar (ICES, por sus siglas en inglés) lideró la digitalización de informes de crucero disponibles en soporte papel, y fue pionero en el desarrollo de una base de datos para administrar esta información (Rickards, 2007).

Tras una amplia revisión, en 1990 el Informe Resumido de Crucero (CSR, por sus siglas en inglés) sucedió al formulario ROSCOP y, aunque fue una iniciativa desarrollada para los países miembros de ICES, se extendió a otros que deseaban enviar su información (Rickards, 2007). En Europa esta actividad cobró un nuevo impulso en el marco del desarrollo de la infraestructura SeaDataNet entre 2006 y 2011. Recientemente, la tarea fue asumida por el Instituto Francés de Investigación para la Explotación del Mar (IFREMER, por sus siglas en francés), aún en el marco de SeaDataNet, y la base de datos CSR combinada de ICES y SeaDataNet, contiene información de cruceros de investigación oceanográfica, principalmente de Europa y otras regiones del mundo (POGO, 2023). En esa misma línea, la Asociación para la Observación del Océano Global estableció una base de datos que comprende buques de investigación en mar abierto operados por institutos en todo el mundo (Rickards, 2007).

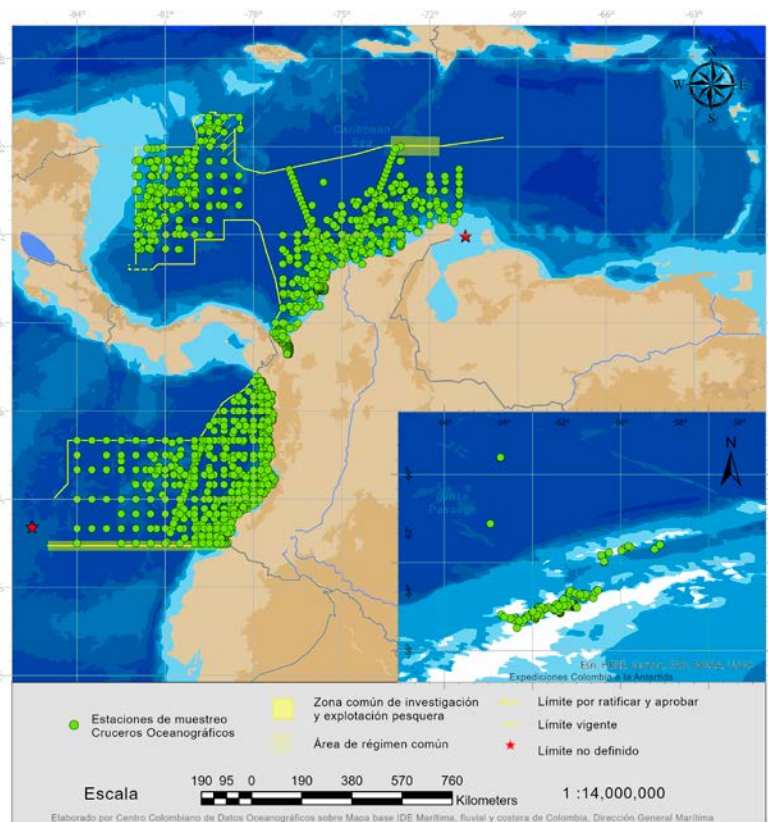
Cabe resaltar que el CSR hace parte de la estrategia de gestión de datos en todo su ciclo de vida. Sus aportes incluyen desde el plan de gestión de datos, hasta que los datos recopilados son accesibles (no solo por sus metadatos, sino también para el descubrimiento, es decir la extracción y análisis de datos de diferentes fuentes), de modo que se justifique el alto costo de la expedición (Che-Bohnenstengel y Nast, 2013). Por ello, en los últimos años ha habido gran interés en los países de Latinoamérica y el Caribe por contar con bases de datos relacionadas con buques y expediciones científicas.

En Colombia surgen varias necesidades alrededor de la gestión de cruceros oceanográficos. En este sentido, la Infraestructura Europea para la Gestión de Datos Oceánicos y Marinos 'SeaDataNet' brinda herramientas basadas en estándares y buenas prácticas internacionales, relacionadas con su experiencia en la gestión de CSR. Para ello, utiliza un modelo de datos geospaciales diseñado específicamente para la comunidad de sistemas de información geográfica (SIG) marina, desarrollado por investigadores de la Universidad Estatal de Oregon, la Universidad de Duke, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés), el Instituto Hidrológico Danés y Environmental Systems Research Institute (ESRI), denominado 'Arc Marine' (Serpa y Wright, 2005) e implementado sobre la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) Marítima, Fluvial y Costera de Colombia como un sistema informático integrado por un conjunto de recursos (catálogos, servidores, programas, aplicaciones, etc.) que permite el acceso y la gestión de conjuntos de

datos y servicios geográficos disponibles en la red. Adicionalmente, cumple una serie normas, estándares y especificaciones que regulan y garantizan la interoperabilidad de la información geográfica (Iniesto y Núñez, 2020) para la administración de datos abiertos del Centro Colombiano de Datos Oceanográficos (Cecoldo), los cuales permiten en conjunto implementar una solución para contribuir con las necesidades de gestión de este tipo de información en el país.

## ÁREA DE ESTUDIO

En la Figura 1 se aprecia el área de estudio cubierta por los cruceros y las expediciones científicas en el mar realizadas por Colombia bajo la coordinación o con participación de la Dirección General Marítima (Dimar). En el Caribe comprende el territorio marítimo colombiano entre los 11°00'00" N y 16°00'00" N y 71°00'00" O y 82°00'00" O, sobre el cual se han desarrollado cruceros oceanográficos en el marco de iniciativas tales como 'Océano',



**Figura 1.** Ubicación de las estaciones de muestreo de los cruceros oceanográficos (1970-2020) disponibles en el Cecoldo.

programa de Investigaciones Cooperativas del Caribe y Regiones Adyacentes, 'Caribe', 'Golfo de Urabá', 'Guajira', 'Islas del Rosario', 'San Andrés Islas', 'Sistema de Pronóstico Oceanográfico y Atmosférico', investigaciones pesqueras y, la más reciente, 'Expedición Científica Seaflower'. De otro lado, en el Pacífico colombiano los cruceros oceanográficos comprenden el área entre los 01°20'00" N y 07°10'00" N y 77°00'00" O y 84°00'00" O, desde 1970 y hasta hoy en el marco de iniciativas tales como Estudio Regional del Fenómeno El Niño 'Erfen', 'SPOA', investigación pesquera y la 'Expedición Científica Pacífico'.

En el marco del Programa Antártico Colombiano, desde el verano austral de 2014-2015, Colombia ha participado en expediciones a la Antártica a través de diversos proyectos de

investigación en la región. Específicamente en el estrecho de Gerlache, entre los 63°56'43" S a 64° 59'29" S y los 61°24' 33" O a 63°57'09" O.

## METODOLOGÍA

La metodología aplicada integró estándares y buenas prácticas internacionales de diferentes disciplinas y se desarrolló en tres fases (Fig. 2). Para la arqueología y recuperación de información sobre los cruceros oceanográficos se aplicó la metodología propuesta por Hernández, Ortiz y Suárez (2007), la cual parte de la base conceptual del proyecto *Global Oceanographic Data Archeology and Rescue*, enfocado a incrementar los archivos digitales oceanográficos históricos para que sean incluidos en bases de datos accesibles a la comunidad mundial (IOC, 1993).

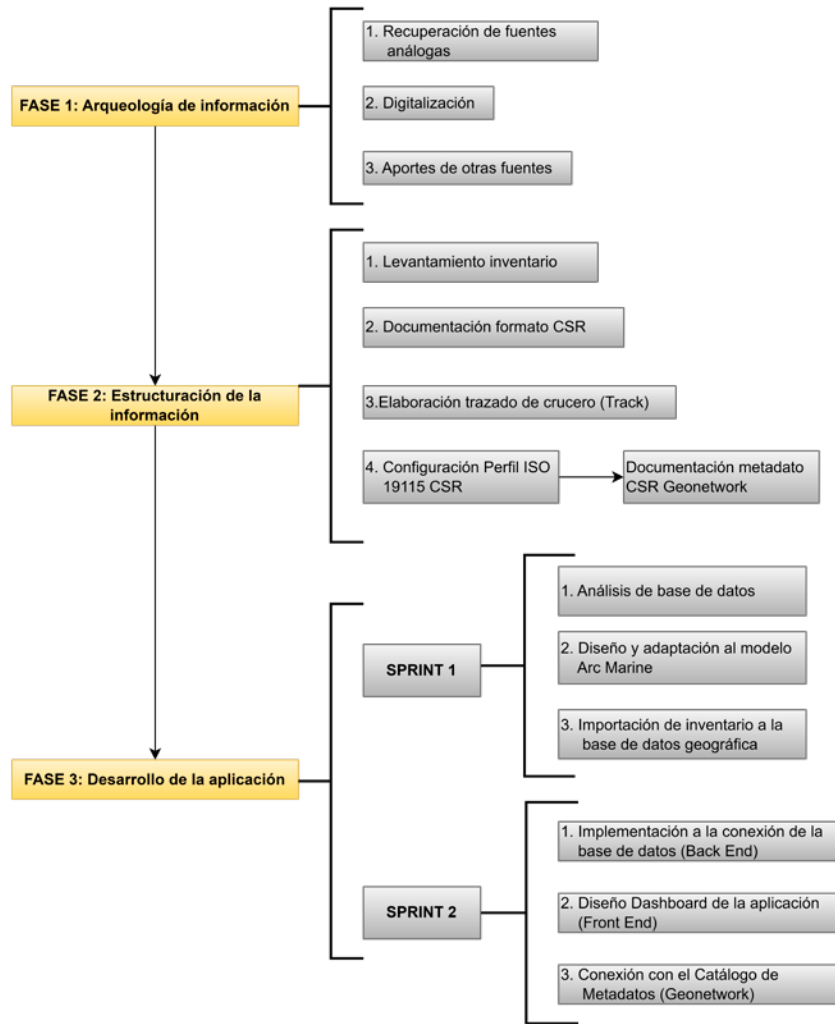


Figura 2. Resumen metodológico aplicado en el caso de estudio.

Una vez obtenidos los archivos digitales, se utilizó el formulario CSR para reunir la información requerida y se procedió a elaborar cada una de las cartas de derrota<sup>4</sup> o track en una plantilla estandarizada de la Autoridad Marítima Colombiana (Dimar); para este último se tomó la información de los mapas disponibles en los informes técnicos de crucero oceanográfico y su correlación con la información geográfica y temporal disponible en los archivos de datos recopilados.

En los casos en que no fue posible recuperar la carta de derrota, debido a que no fue incluida en el informe técnico de crucero oceanográfico, se realizó la reconstrucción del recorrido del buque basado en los registros de fecha, hora y coordenadas geográficas de los datos recopilados en el sitio, trazando un aproximado del recorrido del buque por cada una de las estaciones de muestreo. Este proceso se inició en hojas de cálculo, incluyendo la calificación de la información pública (reservada o clasificada) en aplicación de la Ley 1712 de 2014 de Colombia: "Por medio de la cual se crea la Ley de Transparencia y del Derecho de Acceso a la Información Pública Nacional y se dictan otras disposiciones". Esta información fue importada a ArcGIS Pro para realizar la georreferenciación de las estaciones de muestreo. Posteriormente, el trazado de la ruta del buque fue realizado con la herramienta Puntos a Línea y, finalmente, la información fue almacenada en una GeoDataBase (GDB).

Para la captura de metadatos se configuró en la herramienta de catálogo Geonetwork Open Source el perfil del estándar ISO 19115 SeaDataNet CSR, recomendado en el volumen 5 de "Ocean Data Standards" (IOC, 2021). Para la implementación de la aplicación geográfica se utilizó la metodología ágil de desarrollo de software denominada Scrum, con un total de dos *sprints* o procesos de trabajo que incluyeron tanto el componente de bases de datos como el de software. Como producto del primer *sprint* se obtuvo la GDB implementada a partir del modelo Arc Marine de ESRI sobre la IDE Marítima, Fluvial y Costera de Colombia; y en el segundo *sprint* se diseñó el visor geográfico utilizando la herramienta *dashboard* de ArcGIS Online, para la configuración

de los filtros de búsqueda geográfica y temática, visualización de contenidos y conexión con el catálogo de metadatos Geonetwork.

## RESULTADOS

### **Fase I. Arqueología de información**

La arqueología de datos e información se realizó a partir de los resultados del proyecto 'Posicionamiento estratégico del Centro Colombiano de Datos Oceanográficos' (2015-2017), financiado por la Dimar. Una vez identificadas las fuentes de información, se desarrolló en sitio el manejo documental en soporte papel, siguiendo las recomendaciones del Archivo General de la Nación (AGN). La digitalización estuvo enfocada en recuperar: (i) los informes de cruceros oceanográficos; (ii) las planillas con datos oceanográficos y de meteorología marina; (iii) los artículos científicos, publicaciones especiales y la literatura gris relacionada.

Asimismo, se realizó una búsqueda de información en soporte electrónico tales como: servidores, computadores, discos duros externos, diskettes o cualquier medio de almacenamiento para complementar la información digitalizada. De esta manera se recuperaron 96 archivos de informes técnicos (finales o preliminares) de 130 cruceros oceanográficos y expediciones científicas desarrolladas entre 1969 y 2020 por la Armada de Colombia (ARC) y la Dimar, 35 cartas de derrota, ocho CSR y la mayor cantidad de datos reportados en los informes técnicos, con excepción de los recopilados por instituciones invitadas a los cruceros.

### **Fase II. Estructuración de información**

A partir del contenido de los informes técnicos y validado este con la información geográfica y temporal de los datos recopilados en campo, se diligenciaron 122 formatos CSR y se registraron en el Formato Único de Inventario de Cruceros Oceanográficos y Expediciones Científicas del Cecoldo.

Ya que el 67 % de los informes técnicos de crucero no contaba con carta de derrota, fue

<sup>4</sup> La Autoridad Marítima Colombiana define "derrota" como la representación de la navegación que debe hacerse, y en efecto se hace, para ir de un punto a otro teniendo para ello que seguir uno o varios rumbos. La "carta de derrota" representa justamente la trayectoria descrita por una embarcación.

necesario llevar a cabo la reconstrucción del recorrido de cada uno de estos cruceros a partir de las mediciones oceanográficas y meteorológicas. Los datos clave para reconstruir el trazado de ruta fueron fecha, hora y coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo, especialmente los registrados con las mediciones de temperatura y salinidad de la columna de agua obtenidas con un perfilador de conductividad, temperatura y profundidad (CTD, por sus siglas en inglés), que generalmente es lanzado en todas las estaciones, o con los datos de la estación meteorológica con registros automáticos a bordo del buque.

Los datos clave se organizaron en una hoja de cálculo y se importaron a ArcGIS Pro, donde se georreferenciaron las estaciones de muestreo y se realizó el trazado de la ruta del buque. Al finalizar este geoproceto se obtuvo un conjunto de polilíneas denominadas tracks, cuyos atributos posteriormente se ajustaron al modelo Arc

Marine. Como resultado se georreferenciaron 6536 estaciones de muestreo, con un aproximado de 160 599 millas náuticas recorridas en 130 cruceros oceanográficos y/o expediciones científicas en el mar, y se trazaron 116 tracks de cruceros para 87 cartas de derrota, teniendo en cuenta que un crucero oceanográfico puede tener más de un área de estudio y por tanto más de un trazado (track).

Como ejemplo, en la Figura 3 se aprecia la carta de derrota originalmente encontrada en el informe técnico del Crucero Pacífico XXVIII / ERFEN XXVI de 1997 y la carta de derrota reconstruida en la presente investigación. Cabe destacar que no fue posible reconstruir la carta de derrota de 12 cruceros oceanográficos, esto debido a que no se contó con información suficiente relacionada con la fecha, hora y coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo, lo que impidió realizar el trazado de ruta del buque.

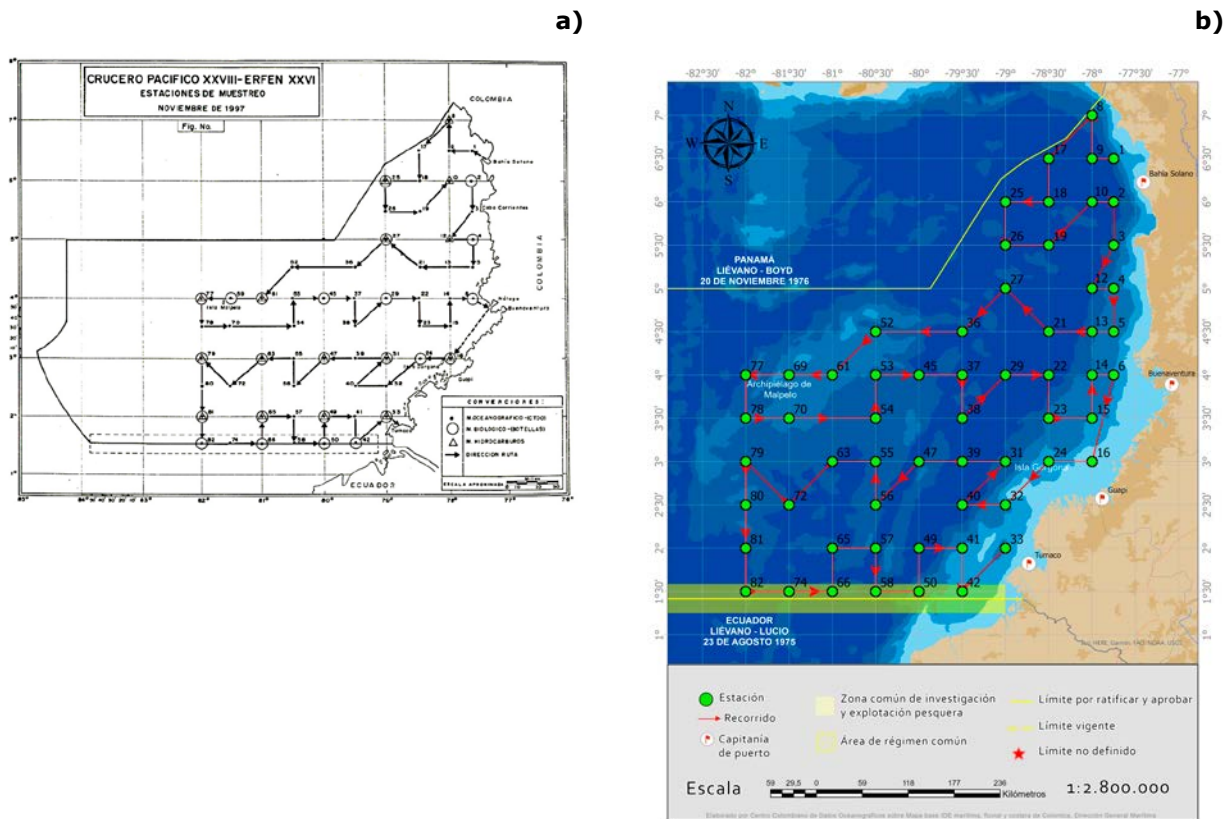


Figura 3. Carta de derrota original (a) y reconstruida (b) del Crucero Pacífico XXVIII / ERFEN XXVI de 1997.



Por último, se configuró en la herramienta de catálogo Geonetwork Open Source adaptada por el Cecoldo, el perfil del estándar ISO 19115 SeaDataNet CSR y la codificación en el lenguaje de marcado extensible XML versión 5.2.0 disponible en SeaDataNet (2020). Posteriormente, se llevó a cabo la captura de 130 metadatos a partir de la información documentada en el formato CSR y 118 muestras gráficas de cartas de derrota. Para los trazados que no se lograron reconstruir se cargó una muestra gráfica con las estaciones de muestreo.

### Fase III: Desarrollo de la aplicación

Esta fase inició con el diseño de la base de datos a partir del modelo Arc Marine de ESRI implementado en la IDE Marítima, Fluvial y Costera de Colombia. Para esto se consideró que este es un modelo genérico que puede ser utilizado como bloque de construcción central para el desarrollo de clases con las características propias de aplicaciones costeras y marinas (Wright *et al.*, 2007). Para el presente estudio de caso se adaptaron las clases asociadas con la información

del inventario de cruceros oceanográficos, el trazado de ruta del buque y las estaciones de muestreo.

La GDB resultante se compone de cuatro tablas alfanuméricas (color verde) del esquema original de Arc Marine, que almacenan la información básica relacionada con cada crucero oceanográfico (fecha de salida, fecha de llegada, nombre del buque, trazado de ruta, etc.) y dos tablas auxiliares (color rojo) para atender requisitos específicos del CSR, tales como la descripción del buque y el Identificador Único de Metadato (UUID, por sus siglas en inglés) que asigna GeoNetwork para cada metadato documentado. Adicionalmente, se implementaron dos capas geográficas que almacenan la geometría de los tracks (tipo línea) y las estaciones de muestreo (tipo punto). Las especificaciones de los atributos de cada clase y demás características fueron documentadas en el diccionario de datos de la aplicación geográfica. Para finalizar, se importó la información de inventario a la tabla Cruise y se validaron las relaciones establecidas en el modelo Entidad-Relación (E-R) (Fig. 4).

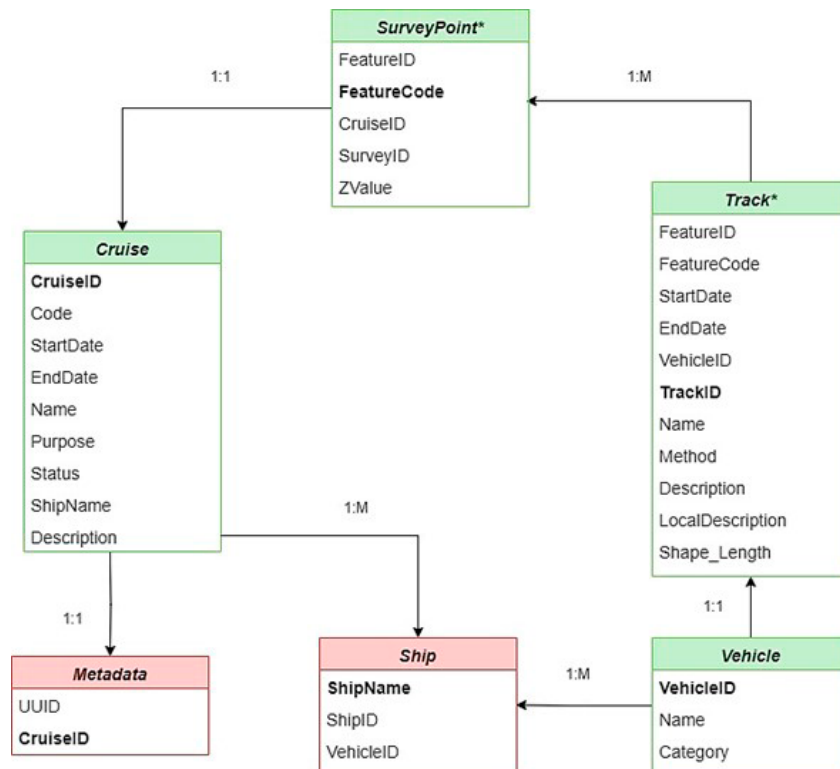
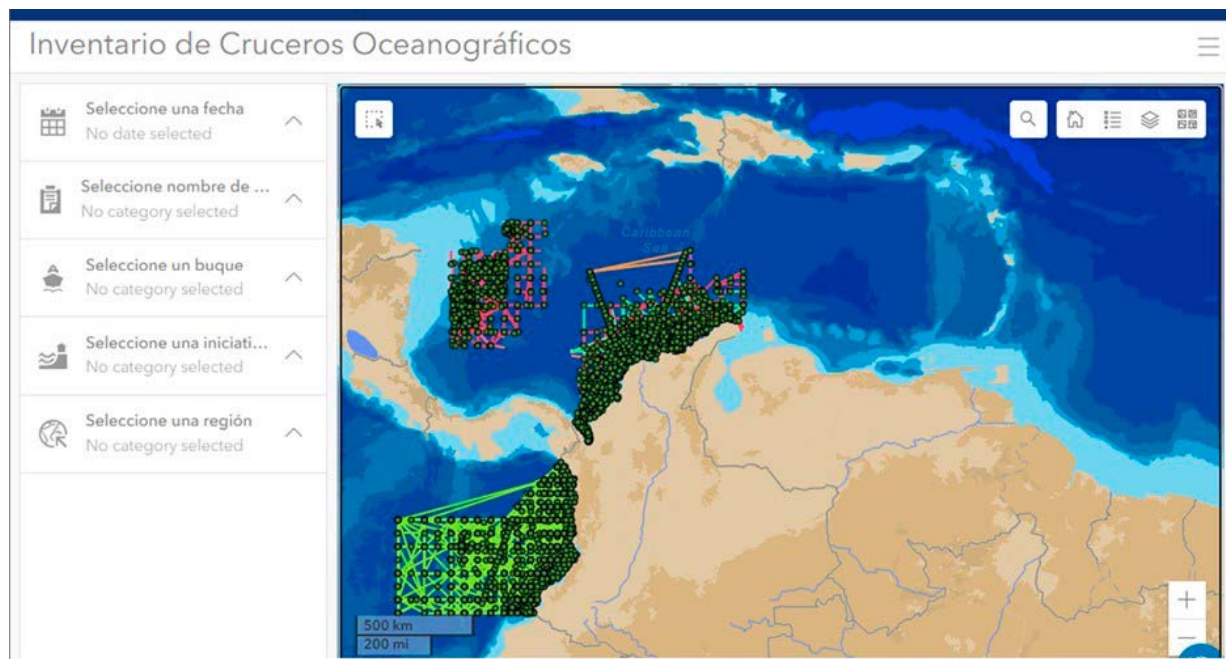


Figura 4. Modelo E-R Arc Marine adaptado para la GDB.

Esta fase concluyó con el desarrollo de la aplicación geográfica que permitió reunir los contenidos del CSR, es decir, la información almacenada en el modelo Arc Marine con la información geográfica y alfanumérica, y la conexión con el catálogo de metadatos Geonetwork. Para ello, con el apoyo de la IDE Marítima, Fluvial y Costera de Colombia se inició el proceso cargando la GDB a su plataforma y estableciendo los parámetros de conexión para la publicación de la información.

A continuación y a partir de un *dashboard* (tablero de trabajo) de ArcGIS *On line* se configuró la interfaz de usuario (*Front End*) de la aplicación geográfica, incluyendo la visualización de la tabla de datos (*Dataframe*) en el mapa base institucional de la Dimar con los tracks de los cruceros (Fig. 5). Asimismo, se configuró una vista con los datos de la GDB de los CSR del Cecoldo, que incluye el atributo del UUID de cada metadato, para que el usuario pueda acceder a información detallada del crucero oceanográfico (metadato) y a descargar los datos abiertos relacionados en el catálogo Geonetwork.



**Figura 5.** Aspecto de la interfaz de usuario para la búsqueda de CSR.

## DISCUSIÓN

El proceso de arqueología y recuperación de información de cruceros oceanográficos de Colombia permitió reunir y estructurar contenido relevante para el CSR, pero también reveló vacíos de información histórica sobre los cruceros; esto asociado probablemente a que se abandonó la buena práctica de documentar el ROSCOP, evidenciado en los informes técnicos de los cruceros desarrollados en el Pacífico colombiano por parte del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas de la entonces Dirección General Marítima y Portuaria en los 90 (CIOH, 1993).

Justamente para finales de la década del 90 se encontró una correlación de esta buena práctica con las iniciativas del Pacífico Sudeste, las cuales fueron apoyadas por el programa *Tropical Ocean Global Atmosphere* (TOGA) que contribuyó con los objetivos del Estudio Regional del Fenómeno El Niño (Erfen), en el marco de los cruceros regionales conjuntos de la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS) (CPPS, 2000).

Es así como la fase de recuperación de información permitió identificar el déficit de registros necesarios para reportar la totalidad de los elementos que componen el inventario global de cruceros y expediciones en el mar, por lo que



en la actualidad es imperiosa la necesidad de retomar esta buena práctica internacional para contribuir, no solo haciendo uso de catálogos en línea, sino también incorporando el formato original del CSR a los informes técnicos oficiales, ya que este último constituye un importante aporte a la memoria histórica de los cruceros oceanográficos y de otras actividades, tales como dispositivos que se hayan instalado, lanzado y/o recuperado durante esta iniciativa.

Por otra parte, IOC (2019a) recomienda consumir vocabularios controlados NERC *Vocabulary Server* para describir conjuntos de datos marinos y oceanográficos, y de esta manera lograr integrar identificadores permanentes, cadenas de texto concisas y una descripción completa de términos en las diferentes aplicaciones. Sin embargo, en la implementación de la codificación XML recomendado por IOC (2021) para metadatos de SeaDataNet CSR, no pudieron ser adaptados los vocabularios controlados para 'proyectos', 'buques' y 'organizaciones' los cuales no incluyen las iniciativas de la comunidad de América Latina.

Dos de estos vocabularios corresponden con las temáticas que están siendo abordadas en la arquitectura del *Ocean Data and Information System* en el marco del "Decenio de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible", en especial, el mecanismo *Ocean Infohub* (OIH) - Latin America and the Caribbean (LAC) del proyecto piloto "*Clearing-House Mechanism LAC*", implementado a partir de la Recomendación SC-IOCARIBE-XV.1 *IOC New Capacity Development Strategy: Implementation Plan* (IOC, 2019b). OHI LAC permite disponer de un modelo híbrido para proveer acceso a información de recursos identificados en la región, dentro del cual se encuentran las temáticas de 'buques' y 'proyectos'. Con ello se evidencia la necesidad de visualizar las iniciativas de cruceros oceanográficos en los catálogos globales, y para el caso de estudio, el potencial de interoperabilidad de la IDE Marítima, Fluvial y Costera de Colombia con el inventario nacional de cruceros desarrollado.

Por otro lado, aunque Arc Marine funcionó como modelo de datos base, respondiendo a las necesidades primarias de estructuración y almacenamiento de los datos geográficos relacionados con CSR y permitiendo además una

representación lógica de estos, no cubrió todos los requisitos identificados. Por esta razón fue necesario agregar tablas alfanuméricas al modelo, el cual resultó ser adaptativo tal como lo señala Andrews y Ackerman (2008), coincidiendo en que "*el modelo de datos Arc Marine proporciona tanto los elementos básicos para representar o modelar tipos de datos marinos comunes, como las herramientas para extender estas representaciones básicas a objetos marinos más complejos a través de relaciones y necesidades particulares*".

Luego de una serie de adaptaciones realizadas al modelo Arc Marine, Lord-Castillo *et al.* (2009) señaló un concepto clave que puede ayudar a guiar futuros desarrollos, coherente con los resultados del presente estudio. Se trata que "*la multidimensionalidad prevista del modelo puede ampliarse efectivamente con dimensiones adicionales (como el tiempo)*". De este modo, la multidimensionalidad del modelo fue comprobada logrando integrar los trazados de ruta del buque reconstruidos para los 87 cruceros, mediante la relación de las tablas *SurveyPoint* y *Cruise*.

Por último, cabe mencionar que Isenor y Spears (2013) destacan la practicidad del modelo Arc Marine para incorporar aspectos del estándar ISO 19115 de metadatos geográficos. Esta conclusión fue corroborada en el presente estudio, pudiendo añadirle el atributo *Metadata* mediante el cual se integra al modelo de metadatos SeaDataNet CSR adoptado en el Cecoldo.

## CONCLUSIONES

El Inventario de Cruceros Oceanográficos de Colombia es el producto de la integración de registros provenientes de diferentes fuentes y soportes que resultan de un proceso de arqueología y recuperación de datos e información, aplicando buenas prácticas internacionales y tecnologías de la información. Es de reconocer que el aporte del proceso fue más allá de la recuperación de la información de los cruceros, dando alcance a los inicios de la investigación científica marina en el país y la evolución de las plataformas e instrumentación oceanográfica utilizadas, respaldando el trabajo de Colombia como potencia oceánica desde hace décadas, y visibilizando los esfuerzos por entender y conocer el territorio marítimo colombiano.

El objetivo del inventario de cruceros oceanográficos debe ser visto más allá de la implementación de una base de datos o del acceso a los datos recopilados. Se trata de contar a futuro con una herramienta de descubrimiento que permita aportar a la planificación de los cruceros y expediciones, el uso eficiente de los buques de investigación y la participación interinstitucional. En este sentido, la iniciativa desarrollada por el Cecoldo sobre la IDE Marítima, Fluvial y Costera de Colombia constituye un importante punto de partida para mejorar el intercambio de información histórica y actual sobre cruceros oceanográficos realizados en el país y en la Antártica, con un potencial de crecimiento para contribuir con la toma de decisiones en diferentes niveles de gestión.

El modelo Arc Marine de ESRI constituyó un verdadero marco de trabajo escalable sobre la IDE Marítima, Fluvial y Costera de Colombia, fácil de adaptar para abarcar conceptos más amplios de acuerdo con las necesidades actuales de gestión de información geográfica marina, y en especial las relacionadas con CSR y su representación espacial; el cual puede ser combinado con herramientas de configuración y desarrollo de aplicaciones geográficas en un ambiente híbrido (en la nube y en sitio).

La adaptación del perfil de metadatos CSR SeaDataNet al catálogo de metadatos Geonetwork abre una ventana de posibilidades de interoperabilidad, ya que la ingestión del esquema XML permite la comunicación y el intercambio con otros centros de datos y plataformas, manejando un lenguaje común y contribuyendo con los principios FAIR (*Findability, Accessibility, Interoperability, and Reuse*). Un paso importante hacia un archivo completo y a largo plazo de la información de cruceros oceanográficos nacionales es incluir los metadatos en la base de datos global de CSR SeaDataNet administrada por IFREMER, gestión que puede realizarse desde los programas o proyectos asociados a los cruceros a través de la IDE Marítima, Fluvial y Costera de Colombia y el Cecoldo.

Finalmente, se debe continuar realizando mejoras al flujo de trabajo de los CSR para hacerlo más eficiente, oportuno (disponiendo la información a la menor brevedad posible una vez finalice el crucero), descentralizado (que pueda

ser alimentado desde diferentes proveedores y productores de datos) y procurando la interoperabilidad con otros procesos relacionados con el ciclo de vida de los datos, evitando con esto recurrir a una futura recuperación de información histórica.

## AGRADECIMIENTOS

A los tripulantes de los centros de investigaciones oceanográficas e hidrográficas del Pacífico y del Caribe de la Dirección General Marítima. Al personal que integra la Infraestructura de Datos Espaciales Marítima, Fluvial y Costera de Colombia. Al programa 'Estado Joven' del Ministerio de Trabajo de Colombia, que permitió la participación de estudiantes universitarios como pasantes en el Centro Colombiano de Datos Oceanográficos (Cecoldo) entre 2021 y 2022.

## FUENTE FINANCIADORA

Dirección General Marítima a través del Centro Colombiano de Datos Oceanográficos (Cecoldo) a su cargo.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: R. O.; Metodología: R. O., D. C.; Análisis: D. C., R. O.; Software: M. S., D. C., R. O.; Redacción - preparación del borrador original: R.O., D. C., M. S.; Redacción - revisión y edición: R. O.; Visualización: D. C. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrews, B.; Ackerman, S. (2008). Federal/State mapping program supports ocean management and research. *Federal GIS Connection*. Woods Hole Coastal and Marine Science Center. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70197185>
- Armada República de Colombia. (1970). *Crucero oceanográfico en el Caribe colombiano. Océano I - 1969*. Resultados preliminares. Ministerio de Defensa – ARC.
- Armada República de Colombia. (1971). *Crucero oceanográfico en el Pacífico colombiano. Pacífico I - 1970*. Resultados preliminares. Ministerio de Defensa - ARC.

- Che-Bohnenstengel, A.; Nast, F. (2013). *Modernised Cruise Summary Reports Management, in particular with a Link to Data. International Conference on Marine Data and Information Systems*. Lucca, Italy, 23-25 September 2013. <https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/251124.pdf>
- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. (1993). *Informe técnico Crucero Oceanográfico Erfen XX*. CIOH. Cartagena de Indias, Colombia.
- Comisión Permanente del Pacífico Sur . (2000). *II Crucero Regional de Investigación Oceanográfica del Pacífico Sudeste realizado en mayo de 1999*. CPPS. Quito, Ecuador. [http://cpps.dyndns.info/cpps-docs-web/dircient/erfen/crucero/ii\\_crucero/informe\\_ii\\_crucero\\_1999.pdf](http://cpps.dyndns.info/cpps-docs-web/dircient/erfen/crucero/ii_crucero/informe_ii_crucero_1999.pdf)
- Hernández Jaimes, J. L.; Ortiz Martínez, R. V.; Suárez Pinzón, I. (2007). Metodología archivística para la recuperación de información oceanográfica del Pacífico colombiano. *Bol. Cient. CCCP*, 14: 123-150. [https://doi.org/10.26640/01213423.14.123\\_150](https://doi.org/10.26640/01213423.14.123_150)
- Iniesto, M.; Núñez, A. (2020). *Infraestructuras de datos espaciales*, 21. [http://www.ign.es/web/biblioteca\\_cartoteca/abnetcl.cgi?TITN=49999](http://www.ign.es/web/biblioteca_cartoteca/abnetcl.cgi?TITN=49999)
- Comisión Oceanográfica Intergubernamental. (1993). IOC-CEC-ICSU-ICES *Regional Workshop for Member States of Eastern and Northern Europe (Global Oceanographic Data Archeology and Rescue [GODAR] Project)*. World Data Centre B, Oceanography Obninsk, Russian Federation 17-20 May 1993. IOC of UNESCO. <https://aquadocs.org/handle/1834/5577>
- Comisión Oceanográfica Intergubernamental. (2019a). *Ocean Data Standards, Vol.4: Technology for SeaDataNet Controlled Vocabularies for describing Marine and Oceanographic Datasets - A joint Proposal by SeaDataNet and ODIP projects*. Oostend, Belgium, IODE of UNESCO. (IOC/2019/MG/54 Vol.4). DOI: <http://dx.doi.org/10.25607/OBP-566>
- Comisión Oceanográfica Intergubernamental. (2019b). *Fifteenth Session of the IOC Sub-Commission for the Caribbean and Adjacent Regions (IOCARIBE-XV)*, Oranjestad, Aruba, 6-10 May 2019. IOC of UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000370299>
- Comisión Oceanográfica Intergubernamental. (2021). *Ocean Data Standards, Vol.5: SeaDataNet Cruise Summary Report (CSR) metadata model for Cruise Reporting - XML encoding (including SeaDataNet CSR metadata profile of ISO 19115-2 - XML encoding, V5.2.0)*. Oostend, Belgium, IODE of UNESCO. <http://dx.doi.org/10.25607/OBP-1644>
- Isenor, A.; Spears, T. (2013). Combining the Arc Marine Framework with Geographic Metadata to Support Ocean Acoustic Modeling. *Transactions in GIS*, 18(2): 183-200. <https://doi.org/10.1111/tgis.12029>
- Lord-Castillo, B.; Mate, B.; Wright, D.; Follett, T. (2009). A Customization of the Arc Marine Data Model to Support Whale Tracking via Satellite Telemetry. *Transactions in GIS*, 13: 63-83. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2009.01159.x>
- Serpa, P.; Wright, D. (2005). *Using Arc Marine in ArcGIS 9.x Tutorial for Beginners*. [https://dusk.geo.orst.edu/djl/arcgis/ArcMarine\\_Tutorial/index\\_v9.html](https://dusk.geo.orst.edu/djl/arcgis/ArcMarine_Tutorial/index_v9.html)
- POGO. (2023). *Cruise Summary Reports. Partnership for Observation of the Global Oceans (POGO)*. <https://www.pogo-oceancruises.org/cruise-summary-reports>
- Rickards, L. (2007). *IODE data flow (National Oceanographic Programmes (NOPs) and Cruise Summary Reports (CSRs))*. <https://aquadocs.org/handle/1834/2779>
- SeaDataNet. (2020). *SeaDataNet CSR Profile of ISO 19139 Metadata - Inspire Compliant*. <https://www.seadatanet.org/Standards/Metadata-formats/CSR>
- Sievers, H. (2017). A 50 años del primer proyecto de construcción de un buque oceanográfico para Chile. *Revista de Marina* (Vol. 134, pp.62). Chile: Armada de Chile <https://revistamarina.cl/es/articulo/a-50-anos-del-primer-proyecto-de-construccion-de-un-buque-oceanografico-para-chile>

Wright, D.; Blongewicz, M.; Halpin, P.; Breman, J. (2007). *Arc Marine GIS for a Blue Planet*. ESRI. <http://dusk.geo.orst.edu/djl/arcgis/book.html>

Zuta, S.; Flores, L. (1980). Oceanography Development in Peru. En Third International Congress on the History of Oceanography (Eds.), *Oceanography: The Past* (pp. 642–655). [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4613-8090-0\\_59](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4613-8090-0_59)