



MESA
OCEANOS

Propuesta de un Sistema Integrado de Observación del Océano Chileno



COP25
CHILE
2019

COMITÉ
CIENTÍFICO
DE CAMBIO
CLIMÁTICO

Propuesta de un Sistema Integrado de Observación del Océano Chileno



COMITÉ
CIENTÍFICO
DE CAMBIO
CLIMÁTICO

AUTORES

Coordinadora mesa Océanos

Laura Farías^{1,2}

Coautores

Camila Fernández^{1,3,4}, René Garreaud⁵, Leonardo Guzmán⁶, Samuel Hormazábal⁷, Carmen Morales^{1,8}, Diego Narváez^{1,9}, Silvio Pantoja¹, Iván Pérez^{10,11}, Doris Soto^{1,3} y Patricio Winckler^{12,13}

Contribuidores

Andrés Camaño Moreno, Juan Fierro Contreras, Susana Giglio Muñoz y Enrique Vargas Guerra

- 1 Universidad de Concepción
- 2 Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2)
- 3 Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuicola (INCAR)
- 4 Centro IDEAL
- 5 Universidad de Chile
- 6 Instituto de Fomento Pesquero (IFOP)
- 7 Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
- 8 Instituto Milenio de Oceanografía
- 9 Centro COPAS Sur-Austral
- 10 Universidad de Los Lagos
- 11 Centro i-mar
- 12 Universidad de Valparaíso
- 13 Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres (CIGI-DEN-FONDAP/Conicyt)

Edición: Cartógrafo.cl^{Spa}

Diseño: www.negro.cl

Fotos: Unsplash

Citar como:

Farías, L., C. Fernández, R. Garreaud, L. Guzmán, S. Hormazábal, C. Morales, D. Narváez, S. Pantoja, I. Pérez, D. Soto y P. Winckler (2019). *Propuesta de un Sistema Integrado de Observación del Océano Chileno (SIOOC)*. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

Equipo encuesta

Daniela Benavente, Laura Fariás, René Garreaud, Felipe Guarda, Bárbara Morales y Andrea Rudnick

Equipo taller de expertos

María Angélica Carmona, Paul Gómez Canchong, Paulina Cofré, Felipe Guarda, Bárbara Morales, Ricardo Norambuena, Silvio Pantoja, Mónica Sorondo y Verónica Troncoso

Participantes taller de expertos

Víctor Aguilera, Catalina Aguirre Galaz, Edgardo Ayala Ortega, Daniela Benavente, Ignacia Calisto, María Angélica Carmona, Leonardo Castro, Jorge Cornejo, Cristian Cornejo, Luis Antonio Cuevas, Laura Fariás, Camila Fernández Ibáñez, Juan Fierro, Dante Figueroa, Susana Giglio, Paul Gómez Canchong, Marcelo Gutiérrez, Leonardo Guzmán, Samuel Hormazábal, Carina Lange, Jorge León, Mauricio Molina Pereira, Bárbara Morales, Carmen Morales, Paola Muñoz Henríquez, Diego Narváez, Ricardo Norambuena, Leonardo Núñez, Carlos Olavarría, Cristián Ortega Valdivia, Silvio Pantoja, Carolina Parada, Iván Pérez-Santos, Oscar Pizarro, Juan Quintana, Hernán Reyes Rivas, Claudio Silva Gallinato, Marcus Sobarzo, Fabián Tapia, Guillermo Toledo Román, Cristian Vargas, Gastón Vidal y Peter von Dassow

PROCESO

La metodología escogida para el presente informe fue la del “metálogo”, técnica de producción de información cualitativa orientada a identificar las distintas racionalidades en juego respecto de una problemática determinada, y favorecer su articulación a partir de un proceso de diálogo reflexivo entre los distintos actores (Urquiza *et al.*, 2018). El trabajo se llevó a cabo en tres fases consecutivas.

Durante la primera etapa se implementó un cuestionario en línea tendiente a levantar información relevante desde la perspectiva de los distintos actores: tipo de sistema de observación más pertinente para el océano chileno, productos que debiese generar el sistema, capacidades técnicas con las que cuenta Chile, alcance y la cobertura temporal del sistema, beneficiarios y gobernanza. Este fue enviado a un total de 267 expertos de los distintos ámbitos antes mencionados, de los cuales 97 respondieron, de ellos, 37 % académicos, 26 % del ámbito público y 46 % de otras instituciones.

La segunda etapa de trabajo estuvo enfocada en la realización de un taller de expertos, que se llevó a cabo el 26 de junio en la Universidad de Concepción y contó con la participación de 41 expertos de los distintos ámbitos antes mencionados. Además de entregar información de con-

texto, donde destaca la presentación de los resultados de la Encuesta sobre la implementación de un SIOOC, el taller consideró un espacio de trabajo en grupos, en los que se discutieron los aspectos críticos a abordar, a nivel país, para el desarrollo de un SIOOC y el modelo óptimo de gestión y administración.

La tercera y última etapa consistió en llevar a cabo la sistematización y análisis de la información generada en las etapas anteriores, y la elaboración de este informe final, cuya construcción contó además con la participación de varios expertos participantes del taller.

AGRADECIMIENTOS

El Comité Científico COP25 y su equipo de gestión agradecen la participación y motivación a los integrantes de la mesa Océanos. Especial reconocimiento a los participantes del Taller de expertos que se llevó a cabo el 31 agosto de 2019 en dependencias de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA), en Valparaíso.

Se agradece la hospitalidad de SUBPESCA y los recursos humanos y financieros aportados por el Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo (CNID), el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)², el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la Unión Europea.

Los contenidos de este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y no representan necesariamente a sus universidades o centros de investigación de afiliación, ni a las instituciones aquí mencionadas.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Resumen ejecutivo 7

¿Qué es y en qué consiste el SIOOC? 8 ▶

¿Qué características debe incluir el SIOOC? 10

**¿Qué elementos del SIOOC existen en Chile
y cuáles son sus problemas actuales? 12**

**¿Qué brechas se reducirían en Chile y qué beneficios
se obtendrían si se contara con un SIOOC? 15**

Vigilancia y seguimiento del estado ambiental,
ecosistémico, sanitario, productivo y de conservación
del océano y su respuesta frente a eventos ambientales
y climáticos. 15

Cumplimiento de variados acuerdos y convenciones
internacionales que involucran datos e informes de
calidad y cobertura espacio-temporal apropiados. 16

Políticas públicas orientadas a la protección
del océano y sus recursos. 17

Políticas públicas construidas desde la evidencia
científica para el uso y conservación del océano 18

Actividades productivas y económicas que provee
el océano y la reducción de riesgo e incertidumbre en ellas . . . 18

**¿Cuál es el modelo de gestión y administración
óptimo para el SIOOC? 20**

Instituciones relacionadas o participantes en procesos
de monitoreo del océano 20

Propuesta de implementación del SIOOC y su financiamiento. 21

Recomendaciones 23

Referencias. 24



FIGURAS

Figura 1. instrumentos usados para observación *in situ* de océano costero, incluye anclajes con boyas superficiales y profundas en la plataforma continental, a los que se les adosa distintos sensores, además de planeadores y vehículos autónomos no tripulados. modificado de Trowbridge *et al.* (2019). 8

Figura 2. Infografía del proceso de observación integrada basado en un conjunto de instrumentos (infraestructura primaria), transmisión de datos y observación *in situ*, además de procesamiento básico consistente en análisis de bases de datos, como variación diaria y a otras escalas, línea base, alertas, etc. Modificado de la web World Meteorological Organization (WMO). 10

Figura 3. Distribución de instrumentación desplegada para programas internacionales de observación oceánica *in situ* implementados bajo el GOOS. Fuente: JCOMMOPS, 2017. 16

TABLAS

Tabla 1: Variables y procesos oceanográficos y climáticos rutinariamente medidos en sistemas de observación y las tecnologías usadas para tal fin 25

Tabla 2: Objetivos, metas y valoración por etapas planificada del SIOOC. 26



Resumen ejecutivo

Chile ocupa el décimo puesto a nivel mundial con mayor territorio marítimo y el primer lugar en Latinoamérica con mayor superficie de mar. El país es dependiente del océano en términos económicos, sociales y culturales, que incluyen actividades en la zona costera y oceánica. Al mismo tiempo, los procesos climáticos y oceanográficos constituyen constantes fuentes de riesgo e incertidumbre, aumentando la vulnerabilidad en los socio-ecosistemas marinos. Chile está declarado un país altamente vulnerable al cambio climático, basado en estudios derivados de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. Esto obliga a buscar propuestas y soluciones para abordar esta vulnerabilidad.

A nivel internacional, varios países han desarrollado e implementado sistemas integrados de observación del océano basados en información continua sobre su estado y sus recursos, con el objetivo de abordar de forma operacional la vulnerabilidad. Estos sistemas de observación tienen propósitos, tales como, mejorar la seguridad en operaciones marinas, fortalecer la seguridad alimentaria, apoyar las actividades económicas de pequeña y gran escala, reducir el riesgo frente a desastres naturales y disminuir la incertidumbre económica junto con la conflictividad social y ambiental derivada de esta. El océano chileno está afecto a una serie de procesos globales asociados al cambio climático, regionales y locales que necesitan, ser estudiados y monitoreados. Por lo tanto, se requiere de la existencia de un sistema de registro continuo de variables atmosféricas y oceanográficas, que provea la información necesaria para la toma de decisiones, tanto públicas como privadas, y permita realizar análisis retrospectivos y predictivos del estado del océano.

Actualmente, existen en Chile algunas iniciativas de observación y monitoreo del océano, incluyendo aportes de servicios públicos, instituciones académicas y organizaciones privadas. Sin embargo, estas no son sistémicas y carecen de continuidad, principalmente por falta de instrumentos financieros de largo aliento y de la valoración política de la información. En el compromiso nacional e internacional, el Comité Científico COP25 releva la importancia de contar con información basada en la evidencia para planificar estratégicamente el desarrollo sostenible y la equidad intergeneracional respecto del uso y la conservación del océano, de los ecosistemas marinos y sus servicios a la humanidad.

En este escenario, académicos, servidores públicos y agentes del sector privado con competencia en la materia proponen gestar un Sistema Integrado de Observación del Océano Chileno (SIOOC), que permita disponer de datos de calidad, estandarizados y de acceso público para el estudio, monitoreo, manejo y vigilancia del océano y sus recursos.

Se contemplan para la implementación del SIOOC, basado en la experiencia existente y las necesidades o brechas del Chile, tres fases en un horizonte de 6 a 8 años:

- › Primero, consolidar la integración de los sistemas existentes en una red asociativa y bajo una gobernanza apropiada, con recursos humanos y financiamiento de fuentes múltiples, e incluyendo la participación del sector privado, productivo y de la sociedad civil.
- › Segundo, incorporar al sistema de nuevos equipamientos e infraestructura (primario y secundario), con un análisis de las capacidades habilitantes y la transferencia tecnológica necesaria para aumentar el tipo, número y cobertura de las observaciones, además de fortalecer las capacidades de predicción.
- › Tercero, incorporar en pleno del SIOOC a otras redes internacionales, especialmente en zonas de alto interés, como la zona antártica, aguas internacionales e islas oceánicas.

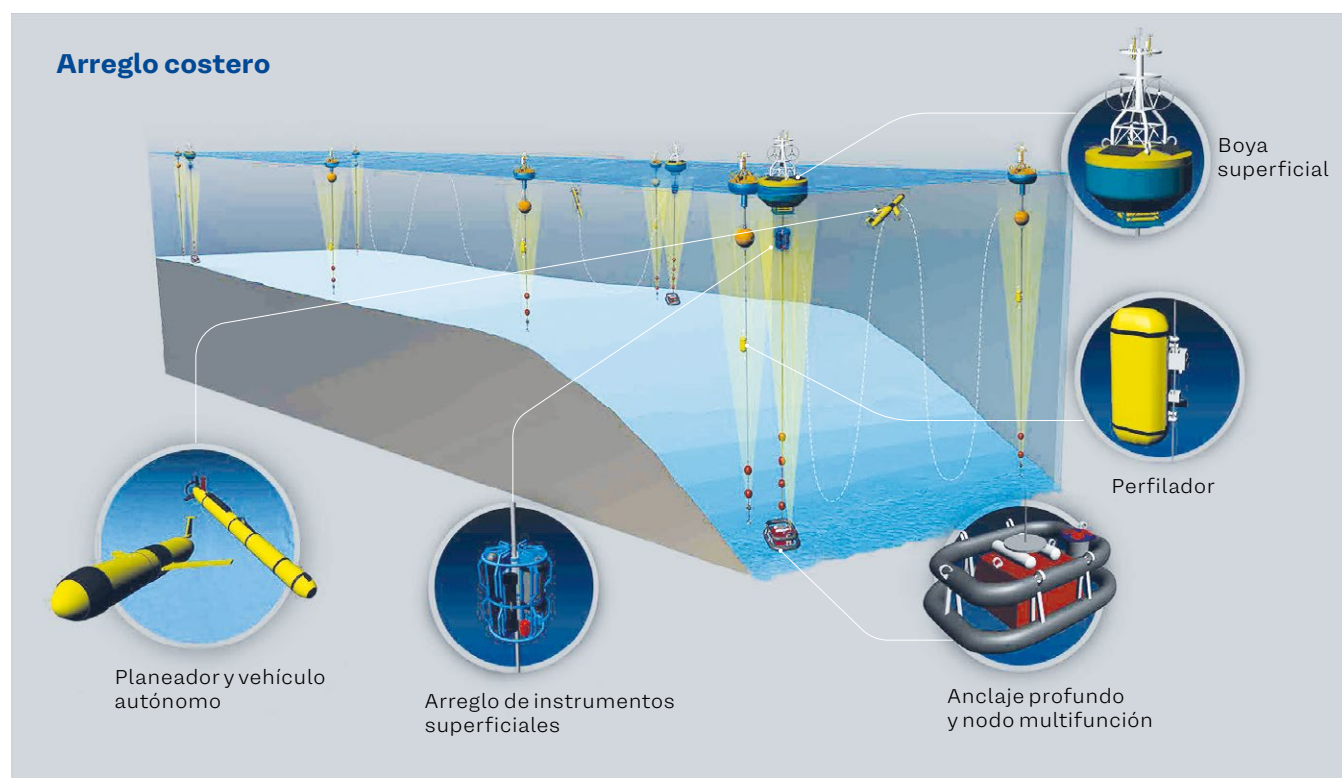
Las universidades y los servicios del Estado participantes en esta propuesta comprometen la infraestructura y los conocimientos existentes para dar lanzamiento al SIOOC. A su vez, esperan que el Estado tome esta iniciativa y un compromiso nacional e internacional como una acción para proteger nuestros mares.

¿Qué es y en qué consiste el SIOOC?

El Sistema Integrado de Observación del Océano Chileno (SIOOC) es una iniciativa que pretende impulsar e integrar un sistema de observación en el océano chileno que proporcione, de forma rutinaria y continua, datos e información de relevancia y calidad sobre su estado actual y futuro.

Los sistemas integrados de observación de vanguardia comprenden plataformas de observación fijas (radares, boyas, anclajes, cables submarinos, estaciones meteorológicas costeras y otros) y plataformas móviles (embarcaciones voluntarias, satélites, planeadores marinos, boyas a la deriva, vehículos no tripulados, entre algunos) (Trowbridge *et al.*, 2019; Figura 1). Estas plataformas poseen diversos tipos de sensores y tecnologías que proveen datos de las variables más relevantes para el sistema climático (Tabla 1). De hecho, los países desarrollados y las organizaciones y agencias regionales como la Unión Europea o Estados Unidos (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) poseen sistemas integrados de gran desarrollo y sofisticación (Liu *et al.*, 2015; Snowden *et al.*, 2019); mientras que Chile posee un sistema relativamente precario, creado por esfuerzos individuales y no a nivel país como se requiere.

Figura 1. Instrumentos usados para observación *in situ* de océano costero, incluye anclajes con boyas superficiales y profundas en la plataforma continental, a los que se les adosa distintos sensores, además de planeadores y vehículos autónomos no tripulados. modificado de Trowbridge *et al.* (2019).



En Chile, ya se están observando procesos globales asociados al cambio climático que afectan sus mares jurisdiccionales (p. ej., cambios de temperatura, intensidad de marejadas, aumento del nivel del mar, acidificación, recursos pesqueros), así como procesos regionales y locales (p. ej., mortandades biológicas masivas, eutrofización, proliferación de algas tóxicas, contaminación, por nombrar algunos). Para evaluar el origen y consecuencias de estos cambios se requiere, en forma crítica, de que exista un sistema de registro continuo y de análisis retrospectivos y predictivos para proveer la información necesaria para la toma de decisiones tanto públicas como privadas. Este requerimiento país está plasmado en la Política Oceánica Nacional (PON), elaborada por múltiples sectores nacionales, y debería, por lo tanto, ser parte fundamental del programa que se deriva de la PON, que está en pleno proceso de preparación a nivel interministerial, pero que no contempla al nuevo Ministro de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

La relevancia de contar con estas observaciones radica en su contribución a la resolución de conflictos sociales y económicos asociados a problemáticas ambientales, y en la determinación de causa-efecto de eventos climáticos o ambientales que impacten tanto a los océanos y a sus recursos como al bienestar de la humanidad, por cuanto tiene funciones ecosistémicas que amortiguan el efecto del cambio climático en el planeta (Gatusso *et al.*, 2015; Stocker, 2015). Un caso emblemático y reciente fue la crisis económica, social y ambiental producida por eventos de marea roja en Chiloé durante el año 2016 (Buschmann *et al.*, 2016), en parte importante generada por la ausencia de datos continuos y oportunos sobre el desarrollo de las condiciones propicias para este tipo de evento.

¿Qué características debe incluir el SIOOC?

- › Un componente de observación que posea instrumental automatizado *in situ*, con un análisis de su priorización primaria o secundaria, que incluya boyas oceanográficas, boyas de oleaje profundo y costero, radares de medición de corrientes marinas, mareógrafos, correntómetros, estaciones meteorológicas costeras, entre otros. Lo anterior, complementado con datos satelitales como de cableado submarino, y una cobertura basada en criterios de regionalidad, ecosistemas o bio-regiones en el Pacífico Sur Oriental, incluida la Antártica.
- › Un componente de calibración y validación de sensores, certificado en un laboratorio nacional bajo estándares internacionales.
- › Un componente informático que permita el manejo y procesamiento de grandes volúmenes de datos, capaz de proporcionar información en línea y en tiempo real, cada vez que sea requerido.
- › Un componente de análisis de datos enfocado en capacidades predictivas, principalmente a través de modelos estadísticos y computacionales.

Este sistema implica disponibilidad de equipamiento nuevo (*in situ*, de procesamiento y para modelamiento) y el fortalecimiento de recursos técnicos y humanos que permita generar las capacidades habilitantes y de transferencia tecnológica necesarias para desarrollar, usar y mantener tal sistema integrado, en línea y de libre disponibilidad para todo tipo de usuario, lo cual va en directo beneficio de políticas públicas (Iwamoto et al., 2016; Pearlman et al., 2019) (Figura 2).

Sistema integrado de observación

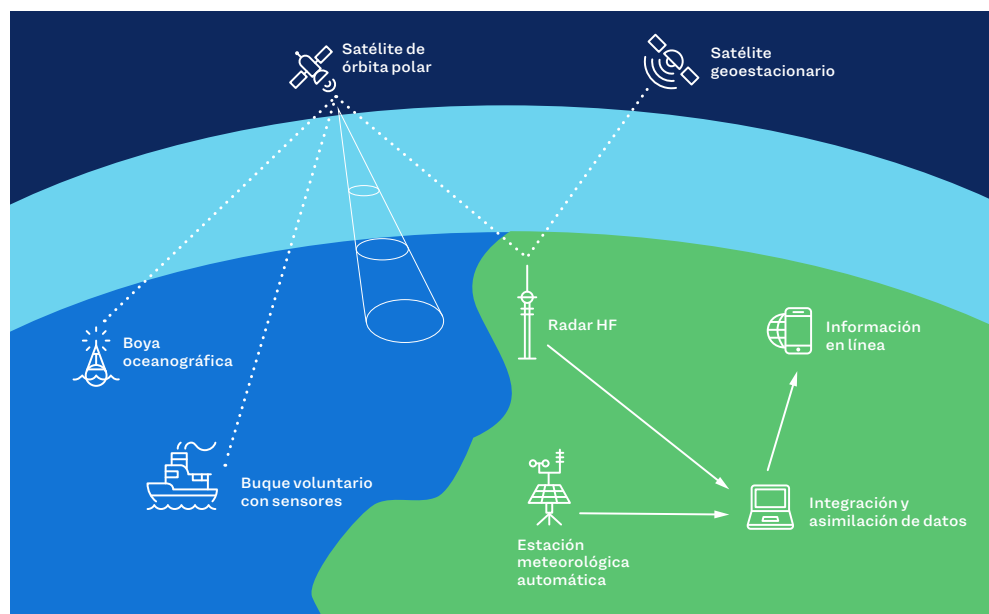


Figura 2. Infografía del proceso de observación integrada basado en un conjunto de instrumentos (infraestructura primaria), transmisión de datos y observación *in situ*, además de procesamiento básico consistente en análisis de bases de datos, como variación diaria y a otras escalas, línea base, alertas, etc. Modificado de la web World Meteorological Organization (WMO).

Todas las fuentes de datos existentes o necesarias de obtener con regularidad también deberían ser integradas al componente manejo de datos, que incluye datos de series de tiempo *in situ*, cruceros oceanográficos, estaciones de registro continuo en la zona costera, entre otros.

Las principales variables y procesos monitoreados por el SIOOC deben ser:

- › Monitoreo de variables oceanográficas (temperatura, salinidad, oxígeno).
- › Monitoreo de procesos oceanográficos físicos (corrientes, oleaje, nivel del mar).
- › Monitoreo climático y meteorológico (presión atmosférica, vientos, temperatura, humedad del aire, radiación).
- › Monitoreo ambiental (CO₂, pH, nutrientes, clorofila-a, plancton).

El SIOOC debe ser capaz de realizar las siguientes acciones:

- › Involucrar a la mayor parte de los actores relevantes, incluyendo comunidades costeras, sociedad civil, privados y organizaciones no-gubernamentales, sector público e instituciones académicas o de investigación.
- › Proveer datos e información de alta calidad (estándares internacionales), confiables, y en forma oportuna para la toma de decisiones ante catástrofes naturales y antrópicas (p. ej., vertimiento de salmones al océano).
- › Proporcionar análisis relevantes para el uso sostenible y conservación del ambiente y los recursos marinos.
- › Ser sistemático, ininterrumpido y de largo aliento, lo cual implica su mantenimiento, revisión y mejora continua.
- › Garantizar la accesibilidad general, nacional e internacional, a los datos y a la información derivada.

Los principales beneficiarios de la existencia y productos derivados del SIOOC serán los servicios y agencias del Estado con competencia en la materia, además de las instituciones académicas nacionales que contribuyen en temas del océano y sus recursos. La comunidad internacional, tanto científica como política, tendrá un alto interés por este sistema y su integración eventual a una red global; necesidad que se hace evidente dado que el Pacífico Sur Oriental y la Antártica están consideradas las regiones menos estudiadas y observadas (Weller *et al.*, 2019). Los sectores privados también serán eventualmente importantes beneficiarios y generadores de datos e información, una vez que se produzcan productos concretos de este sistema que contribuyan a su mayor productividad y eficiencia. A nivel educativo, el SIOOC podrá ser importante en su utilización como herramienta de mayor valoración del océano para las nuevas generaciones, además de poder ser utilizado como plataforma para la educación universitaria en ciencias del mar.



¿Qué elementos del SIOOC existen en Chile y cuáles son sus problemas actuales?

Chile, a pesar de su extenso territorio oceánico, posee aún una débil capacidad de observación y monitoreo continuo de su océano y presenta una inmensa disparidad con la disponibilidad de datos continentales (Martínez *et al.*, 2017). Por ejemplo, para estudios climáticos en el continente chileno hay 1145 pluviómetros, 295 termómetros y 788 medidores de ríos con datos disponibles gratuitamente de los servicios públicos e integrados en la plataforma el explorador climático¹. Para la sismología, la red está compuesta en la actualidad por 492 instrumentos, que incluyen 65 estaciones permanentes de banda ancha y movimiento fuerte en tiempo real, 130 sistemas de satélites de navegación global y 297 instrumentos de movimiento fuerte, instalados para comprender mejor el impacto de los terremotos (Barrientos, 2018).

En contraste, para las observaciones continuas *in situ* del océano, el país cuenta hoy con menos de 10 boyas oceanográficas costeras y sus diversos tipos de sensores superficiales. Si bien, este equipamiento está bajo la administración de centros de investigación científica ha sido necesario en algunos casos discontinuar su operación por problemas de financiamiento. La mayoría de las boyas costeras y las instaladas en fiordos y canales de la Patagonia han sido adquiridas gracias a iniciativas de CONICYT, conocidas como Fondo de Equipamiento Científico y Tecnológico (FONDEQUIP), financiadas a través de la Iniciativa Científica Milenio (ICM) (Núcleos e Institutos), y algunos aportes de privados. Los datos continuos de algunas de estas boyas costeras han sido recientemente integrados en la plataforma CDOM², la que alberga y distribuye información generada por boyas oceanográficas y estaciones meteorológicas pertenecientes a varias instituciones nacionales, coordinadas por la Universidad de Concepción-Centro COPAS Sur-Austral y por CR2, CEAZA, CIEP, Centro i-mar de la Universidad de los Lagos e IFOP. Algunos de estos datos también están en POMEQ³, administrado por la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, el cual además integra datos satelitales de temperatura y clorofila superficial del mar.

Otras plataformas oceanográficas, que a la fecha llevan más de cuatro años en la Patagonia norte, están enfocadas en la observación de las condiciones oceanográficas y el estudio de los impactos de acidificación del océano en centros de cultivo de mitilidos (Centro MUSELS, ICM). Recientemente, el Centro FONDAP IDEAL ha desplegado boyas oceanográficas en la región de Magallanes y la primera boya oceanográfica en territorio antártico. Asimismo, hay otras plataformas de gestión de datos en la región de Coquimbo, CEAZA-Met por el Centro CEAZA⁴ y CHONOS por el IFOP⁵.

Existen también dos boyas en la región oceánica, asociadas a proyectos o iniciativas internacionales, pero últimamente la operación de una de estas boyas fue discontinuada (Weller *et al.*, 2019). Por otra parte, pro-

¹ <http://explorador.cr2.cl/>

² www.cdom.cl

³ www.pomeo.cl

⁴ www.ceazamet.cl

⁵ www.chonos.ifop.cl

ducto del trabajo asociativo de CEAZA y MUSELS, Chile ha incorporado, hace poco, la primera plataforma oceanográfica de Sudamérica a redes internacionales de observación del océano, como la Red Global de Observación de la Acidificación del Océano (GOA-ON)⁶.

Otro sistema de observación continua del océano en Chile incluye datos en línea a partir de radares de alta frecuencia (HF) que proveen información sobre corrientes marinas superficiales, altura de ola y energía undimotriz. Estos radares se concentran en la región de Valparaíso (Valparaíso, Quintero, Concón y San Antonio) y apoyan un sistema de alerta de marejadas (SAM) gestionado por la Universidad de Valparaíso que permite pronosticar el oleaje⁷ y los eventos extremos de oleaje como marejadas⁸. Un sistema similar existe para la zona de Concepción, bajo la gestión de la Universidad de Concepción (Sistema Integrado de Observación del Océano en la Región del Biobío, CHIOOS)⁹.

Asimismo, existe una red de 45 mareógrafos a lo largo del país, instrumentos que son capaces de informar y medir en tiempo real el nivel del mar, y que tienen desplegados diversos sensores que capturan datos de la temperatura superficial del mar. Estas estaciones de monitoreo son operadas por el SHOA y la información está disponible por requerimiento.

Existió, además, la experiencia de monitoreo con embarcaciones de oportunidad y un sistema portátil de flujo continuo para el monitoreo multiparamétrico, que se realizaron temporalmente a bordo de naves como M/V Evangelistas, con la que se obtuvieron datos de la Patagonia austral (Aiken *et al.*, 2011). A esta lista se debe agregar el programa CIMAR (Cruceiros de Investigación Científico-Marina en Áreas Remotas) llevado a cabo por el SHOA y que, en la actualidad, desarrolla su cruceiro número 25. El objetivo principal ha sido estudiar en forma multidisciplinaria, aspectos oceanográficos, meteorológicos, de biodiversidad marina y de morfología submarina en zonas geográficas remotas, como fiordos y canales australes e islas oceánicas. La información de mareógrafos y la de los cruceiros CIMAR está disponible en el Centro Nacional de Datos Hidrográficos y Oceanográficos de Chile (CENDHOC)¹⁰.

A modo ilustrativo, países desarrollados como Australia cuentan con un sistema integrado (Integrated Marine Observing System, IMOS)¹¹, con diversas plataformas de observación fijas y móviles, las que incluyen 24 boyas costeras y 14 radares de HF administrados por IMOS; mientras que Estados Unidos mantiene más de 70 radares administrados por IOOS, Integrated Ocean Observing System¹² y cientos de boyas operadas por el Centro Nacional de Datos de Boyas¹³.

Respecto del monitoreo ambiental relacionado a la contaminación en sistemas marinos, Chile dispone del Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL), elaborado y ejecutado por DIRECTEMAR¹⁴, y amparado en convenios internacionales. Bajo este programa se monitorean las fluctuaciones anuales de los niveles de concentración de los principales componentes de desechos domésticos, industriales, de hidrocarburos de petróleo y contaminantes orgánicos persistentes (COP) en las bahías, lagos y ríos y biota. Su objetivo es evaluar impactos producidos por las principales actividades humanas como pesca, acuicultura, recreación, navegación. Sin embargo, la baja frecuencia (anual) de muestreo es insuficiente para pesquisar oportunamente eventos de contaminación.

El monitoreo de recursos biológicos recae en gran parte en las labores de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA) y en el Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA), con importantes contribuciones a través de proyectos licitados por el Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura (FIPA). La data FIPA, que incluye datos oceanográficos y data biológica en algunos casos, está disponible por requerimiento. Otra parte de las observaciones *in situ* provienen de cruceiros o campañas oceanográficas llevados a cabo por instituciones académica y el IFOP; y existen algunas series de tiempo en estaciones fijas, una de ellas fuera de Concepción (Universidad de Concepción) con más de 17 años de muestreo mensual y numerosas variables biogeoquímicas, incluidas producción primaria y gases de efecto invernadero (Farías *et al.*, 2015).

Por otra parte, distintas normativas nacionales implican o incluyen la generación o contribución de datos ambientales relacionados a los océanos y sus recursos. Por ejemplo, la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) está encargada de “exigir, examinar y procesar los datos, muestreos, mediciones y análisis que

6 http://portal.goaon.org/Explorer?action=oiw:fixed_platform:CEAZA_Tongoy

7 <https://oleaje.uv.cl>

8 <https://marejadas.uv.cl>

9 <https://chioos.cl>

10 http://www.shoa.cl/n_cendhoc/

11 www.imos.org.au

12 <https://ioos.noaa.gov>

13 <https://www.ndbc.noaa.gov/>

14 https://www.directemar.cl/directemar/site/edic/base/port/datos_poal.html

los sujetos fiscalizados deban proporcionar, de acuerdo con las normas, medidas y condiciones definidas en sus respectivas Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), y supervisar los procedimientos asociados a Programas de Vigilancia Ambiental (PVA)". Se hace necesario integrar, actualizar y elaborar guías para establecer requerimientos mínimos asociados al diseño de muestreo, métodos analíticos y robustez estadística para la ejecución de los PVA, acompañados de controles de calidad, que permitan detectar un efecto cuando este realmente exista. El mejoramiento de los PVA para sistemas marinos permitiría incrementar la calidad de la información, generando un aporte directo al SIOOC.

Un programa consolidado de monitoreo de la marea roja es el que actualmente tiene el IFOP¹⁵ además de los monitoreos realizados por el sector privado a través de empresas dedicadas a ello, como Plancton Andino; en todos estos casos, los datos y la información no están en línea. Por otra parte, CHONOS de IFOP es de libre acceso e incluye observaciones meteorológicas en tiempo real y productos numéricos, ya sea en modelos de predicción como de condiciones pasadas. Por otra parte, estudios de recursos biológicos y su entorno ambiental, de carácter ocasional (asignados vía licitación pública) y del Programa Permanente son definidos por el Consejo de Investigación Pesquera y Acuicultura (FIPA). Los datos del programa permanente y ocasionales son públicos e incluyen datos oceanográficos, ambientales y biológicos. Muchos de estos proyectos han tenido continuidad en muestreos anuales o estacionales y, por lo tanto, son valiosos de considerar en el SIOOC.

Otro ejemplo, es el caso del sector acuicultura, dado que la Ley General de Pesca y Acuicultura (Ley 20434, art. 87) indica que "a fin de tener un control en línea de los parámetros ambientales de las agrupaciones de concesiones acuícolas, deberán estas disponer de una tecnología que registre y transmita al menos indicadores de conductividad, salinidad, temperatura, profundidad, corrientes, densidad, fluorescencia y turbidez, según lo establezca el reglamento". Bajo esta disposición, la Unidad de Asuntos Ambientales de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura está elaborando el Reglamento que entrega las especificaciones y exigencias que permitan implementar una red de monitoreo, considerando todos los componentes necesarios para acceder a la información, el seguimiento y mantención de la base de datos generada, entre otros. Una vez que sea legalmente aplicable este Reglamento en el corto plazo, se dispondrá de información adicional para el SIOOC.

En el mismo sentido, existe una iniciativa SIMA-AUSTRAL¹⁶ financiada por el Fondo de Innovación Estratégica (FIE) del Ministerio de Economía y ejecutado por SERNAPESCA en conjunto con la CSIRO Chile, filial de CSIRO de Australia. El objetivo del proyecto es transformar e impulsar el sector acuícola nacional, a través de la implementación de un Sistema de Gestión Sanitaria y Ambiental de la Acuicultura, con enfoque ecosistémico. Por último, es importante mencionar que existe una iniciativa CLIPESCA¹⁷, liderada por la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV), que está desarrollando un sistema que permitirá pronosticar qué ocurrirá con importantes recursos pesqueros chilenos, año a año hasta el 2100, frente a diversos escenarios del cambio climático; el cual es el propósito de este proyecto de investigación.

¹⁵ <https://www.ifop.cl/marearaja/>

¹⁶ <https://research.csiro.au/sima-austral/es/inicio/>

¹⁷ <http://www.clipesca.cl/>



¿Qué brechas se reducirían en Chile y qué beneficios se obtendrían si se contara con un SIOOC?

Los beneficios por generar y las brechas por acortar con la existencia del SIOOC serán:

VIGILANCIA Y SEGUIMIENTO DEL ESTADO AMBIENTAL, ECOSISTÉMICO, SANITARIO, PRODUCTIVO Y DE CONSERVACIÓN DEL OCEANO Y SU RESPUESTA FRENTE A EVENTOS AMBIENTALES Y CLIMÁTICOS

El SIOOC generará e integrará productos de calidad que incluyan al menos las siguientes aplicaciones:

- › Estado del sistema clima-oceano, basado en información *in situ* y continua de variables meteorológicas y oceanográficas fundamentales, como vientos, corrientes, temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes, clorofila-a.
- › Información satelital de variables oceanográficas superficiales, como vientos, corrientes marinas, altura del nivel del mar, temperatura y salinidad.
- › Fenómenos de interacción oceano-atmósfera, como eventos ENOS-El Niño y sus efectos en los sistemas costeros y oceánicos frente a Chile.
- › Sistema de alerta de riesgos o desastres producidos por marejadas, tsunamis y variaciones importantes en el nivel del mar, que provoquen inundaciones y erosiones en la zona costera, erupciones volcánicas (caída de cenizas al mar).
- › Morfodinámica de playas y evaluación de su erosión.
- › Evaluaciones del estado de los océanos basadas en índices ambientales, incluyendo acidificación (pH, pCO₂), eutrofización, hipoxia-anoxia, niveles de contaminantes, así como niveles de biomasa y producción biológica, y biodiversidad.
- › Sistemas de alertas ambientales por agentes contaminantes o alertas sanitarias por eventos de patogenicidad (p. ej., coli fecales) o toxicidad (FAN) o mortandad de organismos.
- › Desarrollo de indicadores de estado de conservación de la biodiversidad en áreas marinas protegidas y que aporten a los programas de manejo de estas.
- › Modelamiento de la circulación y biogeoquímica oceánica y costera con múltiples fines para las actividades humanas en la región.

CUMPLIMIENTO DE VARIADOS ACUERDOS Y CONVENCIONES INTERNACIONALES QUE INVOLUCRAN DATOS E INFORMES DE CALIDAD Y COBERTURA ESPACIO-TEMPORAL APROPIADOS

En la actualidad, contar con un sistema de observación del océano en Chile permitiría cumplir con compromisos internacionales. Principalmente, bajo el paraguas de las Naciones Unidas, con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) asociados a la Agenda 2030, el Acuerdo de París sobre metas en Cambio Climático y el programa de la Década de los Océanos vía la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI).

El valor de las observaciones oceánicas es reconocido internacionalmente y, en la última década, existen esfuerzos importantes por incrementar programas con sistemas de observación. En particular, la COI ha logrado un enorme progreso en las capacidades de observación del océano a nivel mundial, a través del Sistema Global de Observación de los Océanos (GOOS, por sus siglas en inglés). El GOOS es responsable de la red más extensa de boyas ARGO y de las redes satelitales que miden la temperatura de la superficie del mar, el color del océano, la topografía de su superficie y los vientos superficiales. La red ARGO está constituida por casi 3900 boyas distribuidas en todos los océanos (Figura 3), las que permiten obtener datos en tiempo real de temperatura y salinidad en los primeros 2000 m de profundidad. Nótese que la cuenca del Pacífico Sur Oriental ha sido la menos observada. Los datos generados han permitido entender cómo funcionan los mecanismos de distribución de calor y otros fenómenos globales. Para el Pacífico Sur Oriental, la alianza regional del GOOS es la denominada GRASP¹⁸, creada en el año 2003. Sin embargo, Chile aún no ha consolidado su participación como país en esta iniciativa, excepto por esfuerzos individuales.

Otros compromisos internacionales firmados por Chile son el Convenio MARPOL sobre control de las emisiones del transporte marino de la Organización Marítima Internacional (OMI), agencia especializada de las Naciones Unidas que ha adoptado medidas que son jurídicamente vinculantes; además del Convenio y Protocolo de Londres, sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias.

National contributions - 3881 Operational Floats / February 2018

Latest location of operational floats (data distributed within the last 30 days)

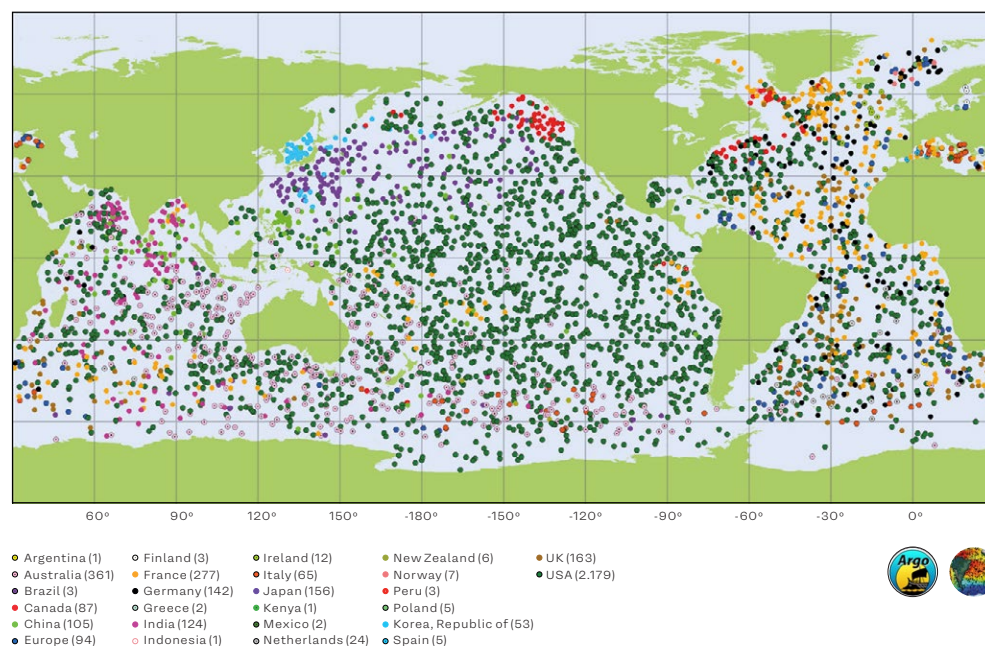


Figura 3. Distribución de instrumentación desplegada para programas internacionales de observación oceánica *in situ* implementados bajo el GOOS. Fuente: JCOMMOPS, 2017.

A nivel regional, la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS) es un organismo intergubernamental, creado por acuerdo entre Chile, Ecuador, Perú y Colombia (1952). La CPPS se constituye como una alianza estratégica, política y operativa en el Pacífico Sudeste, para consolidar la presencia de los países ribereños en dicha área geográfica y su proyección de manera efectiva y coordinada en la cuenca del Pacífico. Su principal foco

¹⁸ <http://cpps-int.org/index.php/grasp>

de acción se ha centrado en estudios del ENOS y contaminación marina. Sin embargo, en la actualidad participa activamente en temas adicionales relacionados a la gobernanza regional de aguas internacionales (nuevo convenio marco de las Naciones Unidas sobre el uso y conservación de la biodiversidad en aguas más allá de la jurisdicción nacional) y en la configuración de un sistema integrado de información SPINCAM¹⁹. El proyecto SPINCAM consiste en una Red de Información del Pacífico Sur en apoyo a la Gestión Integrada de Áreas Costeras. Esta iniciativa está incluida en la plataforma del SINIA del MMA, pero aún sin productos para Chile. Sin duda, los componentes de este sistema podrán perfectamente ser armonizados con el futuro SIOOC.

La CPPS también está aliada con el Nodo Internacional de Datos de Biodiversidad Marina (OBIS), al cual Chile aporta a través de instituciones académicas. Como signatario de la Convención de la Biodiversidad (CDB) de Naciones Unidas de 1992, Chile adoptó el Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020, que incluye las Metas de Aichi para la Diversidad Biológica en materia de conservación de la biodiversidad marina. La meta N° 11 establece que para 2020, el 10% de las zonas marinas y costeras, especialmente las que revisten particular importancia para la diversidad biológica y los servicios ecosistémicos, se habrán conservado por medio de sistemas de áreas protegidas administrados de manera eficaz y equitativa, ecológicamente representativos y bien conectados, y de otras medidas de conservación eficaces basadas en áreas, integradas a los paisajes terrestres y marinos más amplios.

POLÍTICAS PÚBLICAS ORIENTADAS A LA PROTECCIÓN DEL OCEANO Y SUS RECURSOS

Chile posee políticas, leyes, planes, programas, normativas y regulaciones ambientales generales, que incluyen aquellos vinculados a los mares jurisdiccionales y cuencas hidrográficas. Muchos de estos instrumentos deben fiscalizar y supervigilar, por ejemplo, servicios de biodiversidad y áreas protegidas que contemplan ecosistemas marinos. El SIOOC sería un aporte para las políticas públicas de conservación marina, centradas en áreas marinas protegidas (AMP), que han sido generadas como un instrumento de gestión ambiental que protege y conserva los ecosistemas, las especies marinas y el valor genético que ellas representan. Los desafíos detrás de este enfoque de la conservación marina son enormes y es de vital importancia disponer de algún sistema de observación en áreas marinas protegidas, para avanzar con los objetivos por los que han sido creados y los compromisos internacionales adquiridos.

Actualmente, la Ley de Pesca y Acuicultura (Ley N° 20657) obliga a un programa permanente referido a la pesca y la acuicultura, que incluye el conocimiento de los recursos y de su entorno ambiental, además de un presupuesto para su ejecución, incluido en la ley de presupuesto. La responsabilidad de la definición de este programa recae en la SUBPESCA y el ejecutante es el IFOP. Considera la generación de observaciones sistemáticas en el tiempo y en áreas geográficas determinadas, de los recursos hidrobiológicos y sus ecosistemas, cuyo análisis permita conocer su estado de situación, patrones y tendencias; además comprende investigación, monitoreo y análisis de condiciones oceanográficas, ambientales y sanitarias apropiadas para el ejercicio sustentable de la acuicultura y el programa de investigación tendrá proyectos de carácter permanente y otros ocasionales. Específicamente establece que se debe realizar una evaluación directa de biomasa y abundancia; evaluación de *stock*; monitoreo y seguimiento de pesquerías; monitoreo y seguimiento actividades de acuicultura; programa del estado sanitario y ambiental, y cambios en las condiciones oceanográficas y ambientales.

En ese contexto, el IFOP es considerado un colaborador y asesor permanente en la toma de decisiones con respecto al uso sustentable de los recursos pesqueros y la conservación del medio ambiente marino, contribuyendo en forma activa con el desarrollo sustentable del país; asimismo debe realizar la investigación de continuidad definida en programas de investigación y administrar las bases de datos generadas en las actividades de investigación y monitoreo de las pesquerías y de la acuicultura. Los informes y antecedentes resultantes de este trabajo deben ser puestos a disposición del público general de forma permanente en el sitio de dominio electrónico del Instituto tan pronto como sean remitidos²⁰.

El SIOOC contribuye directamente al mejoramiento del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PANCC) que estableció entre sus metas la elaboración e implementación de un Plan Nacional de Adaptación y nueve planes sectoriales de adaptación al cambio climático: Silvoagropecuaria, Biodiversidad, Pesca y Acuicultura, Salud, Infraestructura, Energía, Recursos Hídricos, Ciudades y Turismo. El plan entrega los lineamien-

19 www.spincam3.net

20 www.ifop.cl/busqueda-de-informes

tos para la adaptación y proporciona la estructura operativa para la coordinación y coherencia de las acciones de los diferentes sectores y distintos niveles administrativos territoriales, considerando que la adaptación puede llevarse a cabo a nivel de un sector específico, multisectorial, regional o de manera transversal.

La existencia de un SIOOC será un pilar fundamental a la actualización de las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (NDC), en el marco del Acuerdo de París, por cuanto Chile puede comprometerse para el período 2020-2025 a desarrollar e implementar un sistema que conlleve una acción climática que permita a nivel local la adaptación, la gobernanza y el cumplimiento de los acuerdos globales. La falta de observación y las brechas de conocimientos se encuentran en un informe sobre la incorporación del océano en las NDC de Chile, a la luz de la agenda oceánica.²¹ El documento es resultado de la colaboración técnica entre el Ministerio de Relaciones Exteriores, el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2 y el Centro de Derecho Ambiental (CDA) de la Facultad de Derecho de la Universidad de Chile.

POLÍTICAS PÚBLICAS CONSTRUIDAS DESDE LA EVIDENCIA CIENTÍFICA PARA EL USO Y CONSERVACIÓN DEL OCÉANO

El anteproyecto de Ley Marco de Cambio Climático se vería fortalecido si se gestan instrumentos de financiamiento para el monitoreo y observación del océano, por cuanto esta ley contempla algunas acciones que se ven favorecidas con la existencia de un SIOOC, como son:

- a. Elaborar la estrategia climática de largo plazo, señalada en el artículo 16, con la colaboración de las autoridades sectoriales, y coordinar su implementación;
- b. Elaborar las NDC, señaladas en el artículo 17, con la colaboración de las autoridades sectoriales, y coordinar su implementación;
- c. Elaborar los instrumentos de gestión del cambio climático que corresponda, en conjunto con las autoridades sectoriales;
- d. Coordinar la implementación de los instrumentos de gestión del cambio climático, y ser contraparte técnica en la elaboración de los Planes Sectoriales de Mitigación y Adaptación.

Asimismo, la existencia de un SIOOC sería una acción que fortalecería el anteproyecto de ley sobre administración del borde costero y concesiones marítimas de borde costero (boletín N° 8467-12); y los existentes como reglamento de la Ley N° 20249 que crea el espacio costero marino de los pueblos originarios. La existencia de un sistema de observación favorecería la gestión de la ley que resguarda el sitio prioritario de acuerdo con las características naturales de cada sector y sus potenciales vulnerabilidades, resguardando el normal funcionamiento de las áreas concesionadas entre ellas playas comprendida entre la línea de baja y de alta marea; fondo de mar y porciones de agua. A esto se le suma la Ley Lafkenche (N° 20249) que fue adoptada en 2008 a partir de la negociación con las comunidades mapuche-lafkenche que reclamaban el reconocimiento y protección de sus derechos territoriales sobre el borde costero. La Ley establece un mecanismo para destinar un Espacio Costero Marítimo (ECMPO) para la preservación de los usos y costumbres indígenas, el cual es entregado en administración a las comunidades correspondientes, siempre y cuando no existan derechos constituidos por terceros en dicha área y CONADI verifique los usos y costumbres alegados.

ACTIVIDADES PRODUCTIVAS Y ECONÓMICAS QUE PROVEE EL OCÉANO Y LA REDUCCIÓN DE RIESGO E INCERTIDUMBRE EN ELLAS

Chile posee una gran diversidad de recursos marinos, siendo actualmente el primer exportador mundial de mitílicos y el segundo productor mundial de salmónidos, además de aportar un porcentaje importante a la pesca extractiva global, concentrada principalmente en especies pelágicas, como el jurel, la sardina y la anchoveta. Las actividades de acuicultura y pesca extractiva dan trabajo a más de 150 000 personas (más del 60 % de la pesca artesanal) e impulsan la industria manufacturera. No obstante, la pesca y la acuicultura son muy vulnerables a cambios paulatinos o bruscos en los ecosistemas, cambios que están asociados a la variabilidad y cambio climáticos (Yáñez *et al.*, 2017) y/o a las presiones generadas por la misma actividad (so-

21 <http://www.cr2.cl/informe-oceano-y-ndc-cr2/>

brepesca). Respecto a la acuicultura, esta es también muy vulnerable al cambio climático (Soto *et al.*, 2019), además de la vulnerabilidad a procesos ambientales como la eutrofización causada por exceso de nutrientes proveniente de la alimentación de peces, hipoxia (disminución de oxígeno por exceso de materia orgánica) y fenómenos de marea roja. Un apropiado monitoreo y seguimiento de variables ambientales en el mar a nivel regional y local podría proveer información necesaria para la toma de decisiones en pesca y acuicultura, además de permitir generar alertas tempranas frente a situaciones de emergencia.

Como ejemplo, si bien existe información de diversas instituciones sobre los cambios que han ocurrido en los mares interiores del sistema de fiordos y canales en los últimos 20 a 30 años, no se encuentra un análisis sinóptico e integrador de datos básicos, muchos de los cuales pertenecen al sector salmonicultor de cada centro de cultivo. Esta información integrada tendría un gran valor, pero requiere de un esfuerzo nacional que permita validarla e integrarla y darle un uso público. Existe además el monitoreo de floraciones algales nocivas y toxinas marinas que abarca las regiones de Biobío, la Araucanía, Los Ríos, Los Lagos, Aysén y Magallanes, que permite prevenir las intoxicaciones por consumo de mariscos cuando hay presencia de floraciones con efectos tóxicos y algunas que producen efectos sobre organismos marinos.

No obstante el esfuerzo que representa un programa de esta naturaleza, aún falta comprender con claridad cómo y dónde se gatillan y generan las floraciones nocivas, lo cual determina incertidumbre social y económica. Asimismo, existe el Programa de Sanidad de Moluscos Bivalvos que financia el sector privado, y que constituye un monitoreo de distintas variables ambientales, entre las cuales se incluyen fitoplancton nocivo y toxinas marinas, en áreas específicas autorizadas por el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA), y cuya finalidad es la certificación de los productos destinados a mercados de exportación, la cual es entregada por este Servicio.

De la misma forma, existen programas muy estrictos de seguimiento de mareas rojas potencialmente peligrosas para salmonídeos pero la toma de información (coordinadas por el mismo sector productivo) ocurre en las cercanías de los centros por lo cual en general la información sobre generación y desplazamiento de mareas rojas es muy sesgada. Ello ha impedido determinar si la presencia de salmonicultura tiene un efecto desencadenante sobre las mareas rojas, dado que no existe observación oceanográfica cercana a centros de cultivos. Por otro lado, se detectado una alta vulnerabilidad de la producción de mitílidos, dado que está producción se basa enteramente en la colección de la semilla desde el ambiente en fiordos de la región de Los Lagos. Existe un par de sistemas de monitoreo de abundancia de larvas y condiciones ambientales para la captación de semilla generados por IFOP y por CETMIS; sin embargo, aún no existe una comprensión de los factores que regulan la distribución y abundancia de semilla de mitílidos.

Por lo tanto, la existencia de un SIOOC permitiría integrar y coordinar la información de diferentes sistemas de información continua, incluyendo aquella que puedan generar y aportar los productores locales y así ofrecer soluciones para mejorar la gestión de los recursos pesqueros y de acuicultura y la capacidad de mitigación y adaptación frente al cambio climático u otras catástrofes.



¿Cuál es el modelo de gestión y administración óptimo para el SIOOC?

En general, en Chile existe una serie de capacidades e instancias que aportan al componente de observación del SIOOC, pero que deben ser integrados apropiadamente y bajo una entidad coordinadora que además incluya manejo de la totalidad de los datos e información, así como del desarrollo de modelos predictivos y productos necesarios en la toma de decisiones públicas y privadas, además de aportar al conocimiento y el desarrollo de nuevas tecnologías.

Las brechas existentes abarcan varios ámbitos, incluyendo:

- › Cantidad y calidad de equipamiento disponible para mediciones continuas *in situ*.
- › Mantención de este equipamiento y laboratorios de calibración calificados en Chile.
- › Transmisión en tiempo real de los datos y su mantención en repositorios apropiados.
- › Accesibilidad e interoperabilidad de los datos disponibles y de la información asociada.
- › Formación técnica y científica relevante a sistemas de información (operación y mantención de equipamiento *in situ* autónomo, equipamiento y recursos humanos calificados para el manejo de alto volumen de datos, Ciencia de datos o *Data Science* y *Big Data*, modelamiento numérico, entre otros).

INSTITUCIONES RELACIONADAS O PARTICIPANTES EN PROCESOS DE MONITOREO DEL OCÉANO

Según la encuesta y taller realizados recientemente, que congregó a los sectores públicos, privados, académicos y otros, el SIOOC debe enfatizar una serie de elementos en cuanto a su composición y gobernanza. Las instituciones nacionales participantes en el SIOOC deberían ser variadas y con una gobernanza que involucre la participación del sector público, el sector privado (empresas y corporaciones), la academia, las ONG relevantes al tema y, eventualmente, la propia ciudadanía, incluyendo pueblos originarios como el caso de Nueva Zelanda (O'Callaghan *et al.*, 2019).

La figura legal bajo la cual se concrete la participación de amplios sectores en el SIOOC requiere ser analizada como parte de este proceso, pero sin duda que el Estado de Chile debe ser el articulador y co-ejecutor de la administración del SIOOC, conformando una entidad pública (p. ej., consorcio, servicio, agencia interministerial como la agencia para la sustentabilidad y cambio climático u otros), con personal propio y profesionales/expertos compartidos con otras organizaciones (comisiones de servicio u otro), con recursos financieros aportados principalmente por el Estado y además por diferentes fuentes, y con una gobernanza ampliada a la incorporación de distintos sectores civiles y autónoma en la definición de las líneas estratégicas de desarrollo del SIOOC.

La administración del SIOOC por la parte del Estado debe contemplar una configuración interministerial dado que varios de los ministerios actuales tienen competencia en el tema océano, incluyendo el nuevo Mi-

nistro de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, como líder, en su misión de “asesorar y colaborar con el Presidente de la República en el diseño, formulación, coordinación, implementación y evaluación de las políticas, planes y programas destinados a fomentar y fortalecer la ciencia, la tecnología y la innovación derivada de la investigación científico-tecnológica. Los ministerios participantes serían el Ministro de Relaciones Exteriores (convenios y programas regionales e internacionales sobre los océanos), el de Defensa (por misión y datos aportantes por la Armada de Chile), el del Medio Ambiente (por misión y rol en áreas marinas protegidas y sistema de datos existente SINIA), el de Economía, Fomento y Turismo (misión y datos aportantes por Subsecretaría de Pesca, SERNAPESCA) y el de Hacienda (asignación de fondos). A nivel regional, los diversos agentes públicos deberán ser considerados (gobierno regional y local) como participantes en las planificaciones y acciones propuestas en el seno del SIOOC.

El SIOOC requerirá una co-administración o colaboración formal con otras organizaciones e instituciones nacionales. En el caso del sector privado, aportarán datos e información obtenidos por normativa vigente o proyectos públicos, así como por otras iniciativas de financiamiento de ellos mismos para el SIOOC, además de participar de la gobernanza que se configure para dicho sistema. La academia estará encargada de aportar en la formación de capital humano en los aspectos científico-tecnológicos, además de ser agentes en la transferencia científico-tecnológica hacia otros sectores y en la difusión conocimiento e información con impacto social, económico y cultural. Además, académicos relevantes podrán prestar servicios en la nueva entidad que se crearía para el SIOOC, vía instrumentos de colaboración Estado, Universidades o Centros de Investigación. A nivel de la sociedad civil, deberán proponerse y generarse instrumentos que incentiven su participación en esta misión, especialmente a nivel de organizaciones ciudadanas relevantes en la materia. Los datos generados por el SIOOC deberán ser de libre acceso a los niveles, locales, regionales, nacionales, e internacionales.

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DEL SIOOC Y SU FINANCIAMIENTO

Para la implementación del SIOOC se contemplan tres fases en un horizonte de 6 a 8 años. En la Tabla 2 están delineadas las etapas, los objetivos, las metas y acciones para su implementación y gestión.

Se requerirá de una comisión que elabore un presupuesto acabado por ítem en un horizonte de 6 a 8 años; pero, preliminarmente se necesitará de una inversión en equipamiento del orden de USD\$ 65 000 000, y un análisis que permita identificar la infraestructura primaria y secundaria.

La primera etapa considera integrar los sistemas ya existentes en Chile, en términos de instituciones que tienen una misión, competencia o rol en el uso, que cuentan actualmente con capacidades técnicas y científicas en la materia, y que dispongan de bases de datos relevantes; es decir, un análisis de una gobernanza efectiva. En esta etapa, y con el compromiso de las universidades respecto a experiencia e instrumental a disposición, el SIOOC deberá tratar de resolver problemáticas para las cuales hay mayor desarrollo establecido en Chile. Además, se debiera utilizar la figura del SIOOC para incorporarlo a la política y legalmente como parte de la PON. Existen también instrumentos legales que financian observaciones en los océanos y sus recursos a través de entidades públicas con/sin la participación de instituciones académicas, privadas u otrPor lo tanto, habría que analizar en esta etapa la forma en que diversas fuentes de financiamiento existentes se canalicen hacia el SIOOC.

Hay varias estrategias observacionales y de asimilación de datos que deben ser abordadas bajo una visión integral del funcionamiento del ecosistema. Dentro de estas estrategias se deben considerar:

a) Anclajes

- › Oceánicos, orientados a determinar las características de la circulación y flujos verticales de calor, sales, nutrientes y materia orgánica en toda la región de estudio.
- › Costeros, orientados a determinar las características de la circulación y flujos verticales de calor, sales, nutrientes y de materia orgánica en los distintos hábitats de interés.

b) Monitoreo costero permanente

- › Estaciones costeras automáticas (meteorológica, mareográfica).
- › Radars marinos HF (observación permanente del campo superficial de corrientes y oleaje).
- › Boyas de oleaje costeros y profundos.
- › Boyas oceanográfica/meteorológica costera.
- › Series de tiempo oceanográficas (estación oceanográfica fija donde obtienen perfiles verticales de parámetros oceanográficos físicos, químicos y biológicos).
- › Monitoreo de recursos pesqueros costeros (p. ej., anclaje de cámaras submarinas, seguimiento de las pesquerías).
- › Monitoreo satelital (información satelital diaria, con alta resolución espacial, de distintas variables oceanográficas y atmosféricas).

c) Monitoreo satelital y modelos hidrodinámicos y biofísicos

- › Monitoreo satelital de clorofila-a, temperatura, viento y nivel del mar y otras variables.
- › Modelos regionales, orientados a entender la dinámica del ambiente y el comportamiento de los recursos dentro de una escala que abarca toda la región de estudio.
- › Modelos locales, orientados a entender la dinámica del ambiente y el comportamiento de los recursos en áreas específicas (cañones submarinos, bahías, zonas costeras y otras zonas de interés).

Finalmente, la integración de los sistemas existentes y la formación de una alianza interinstitucional para apoyar la gestión de la creación del SIOOC requerirá de fondos frescos y aportes valorizados de parte de los varios actores involucrados e interesados.

En resumen, en el primer período (2 años), se consolidará una integración de los sistemas existentes en una red asociativa (equipamiento, recursos humanos, laboratorio de calibración nacional y centro de manejo de datos) y bajo una gobernanza apropiada, con recursos humanos y financiamiento múltiple apropiado, incluyendo la participación del sector privado, productivo y de la sociedad civil.

En la segunda etapa (2 a 3 años), se implementarán los nuevos requerimientos de equipamiento, infraestructura y capacidades habilitantes necesarias para aumentar el tipo y número de observaciones, y su cobertura, además de fortalecer las capacidades de predicción. En la tercera etapa (2 a 3 años), se incorporará en pleno el SIOOC a otras redes internacionales, especialmente en zonas de alto interés, como islas oceánicas, la zona antártica y las aguas internacionales.



Recomendaciones

A nivel internacional, los océanos representan la nueva frontera de las políticas ambientales y, al mismo tiempo, constituyen la base de la economía azul sobre la cual se enfocan las estrategias económicas globales, regionales y locales. El fundamento de las decisiones políticas sobre el uso y conservación de los océanos y sus recursos debe ser la información científica generada y basada en observaciones repetitivas que permitan realizar evaluaciones permanentes sobre el estado de los océanos.

Chile carece de un sistema de observación de los océanos que sea integrado, estandarizado y de libre acceso en términos de datos, representativo bio-geográficamente, de calidad internacional respecto de un conjunto de variables esenciales ambientales, oceanográficas y ecológicas a nivel de ecosistemas. Frente a esta problemática nacional, reconocida explícitamente en la Política Nacional Oceánica, se recomienda lo siguiente:

1. Valorizar políticamente los repositorios de datos ambientales y observación del océano que permitan desarrollar una estrategia nacional y generar las acciones concretas para la creación de SIOOC como programa país en el corto plazo y con una institucionalidad de carácter público intersectorial, con aportes conjuntos de distintos sectores, tanto públicos como privados.
2. Promover y financiar acciones, a nivel público y privado, que fomenten la colaboración nacional para la obtención e integración de distintas fuentes de datos e información sobre los océanos en la región, enfocado en aguas jurisdiccionales en una primera etapa y abordando aguas internacionales en colaboración con otros países de pertinencia al Pacífico Sur y Antártica.
3. Realizar un diagnóstico de la capacidad instalada, en los ámbitos públicos y privados, incluyendo instrumentación de muestreo in situ y equipamiento de laboratorio referido a las variables esenciales, los sistemas de procesamiento de datos, los especialistas en todos los aspectos científico-técnicos involucrados y la oferta de formación de capacidades a nivel técnico-profesional necesario para el SIOOC.
4. Implementar el SIOOC considerando inicialmente tres etapas y analizando las capacidades habilitantes y de transferencia tecnológica que existen o son necesarias para fortalecer cada etapa, con un sistema de financiamiento renovable de largo plazo y de fuentes público-privadas, y con nuevos instrumentos de gestión pertinentes que incluyan la participación ciudadana activa. La academia y algunos servicios públicos se comprometen a poner a disposición su infraestructura y experiencia en la primera etapa y analizar una estrategia comunicacional y política al respecto.
5. Fortalecer la colaboración regional e internacional sobre la observación de los océanos en sus aspectos políticos, científicos, técnicos y culturales, integrando los datos del SIOOC a redes internacionales de libre acceso y generando instancias para la transmisión en línea dichos datos.
6. Promover una capacitación continua para fortalecer las capacidades institucionales, el uso de una gestión basada en indicadores, el desarrollo y mantenimiento de datos SIOOC y un sistema de gestión de dichos datos en estrecha colaboración con programas y proyectos con organizaciones regionales e internacionales.
7. Crear un sistema de gobernanza y financiamiento de las zonas costeras y marinas que incorpore un enfoque multidisciplinario e interinstitucional y promueva la participación de los actores locales en el desarrollo de políticas y la toma de decisiones, para fomentar la compatibilidad y equilibrio de los distintos usos de la costa en concordancia con las leyes (Ley Marco del Cambio Climático, Ley de Borde Costero) y normativas vigentes y por venir.

REFERENCIAS

- Aiken, C. M., Petersen, W., Schroeder, F., Gehrung, M., & Ramírez von Holle, P. A. (2011). Ship-of-opportunity monitoring of the Chilean fjords using the pocket FerryBox. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 28(10), 1338-1350.
- Barrientos, S. (2018). The Seismic Network of Chile. *Seismological Research Letters*, 89 (2A), 467- 474.
- Buschmann A., L. Fariás, F. Tapia, D. Varela y M. Vásquez (2016). *Informe Final. Comisión Marea Roja*. Ministerio de Economía.
- Fariás, L., V. Besoain, & S. Loyola-García (2015). Presence of nitrous oxide hotspots in the coastal upwelling area off central Chile: an analysis of temporal variability based on ten years of a biogeochemical time series. *Environ. Res. Lett.* 10 (2015) 044017.
- Gattuso, J.-P., A. Magnan, R. Billé, W.W. Cheung, E.L. Howes, F. Joos *et al.* (2015). Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO₂ emissions scenarios. *Science*, 349:aac4722. doi: 10.1126/science. aac4722.
- Iwamoto, M. M., F. Langenberger, & C. E. Ostrander (2016). Ocean observing serving stakeholders in the Pacific Islands. *Mar. Technol. Soc. J.* 50:3. doi: 10.4031/MTSJ.50.3.2.
- Liu, Y., H. Kerkerling, & R. H. Weisberg (eds.) (2015). *Coastal Ocean Observing Systems*.
- O'Callaghan J., C. Stevens, M. Roughan, C. Cornelisen, P. Sutton, S. Garrett, G. Giorli, R. O. Smith, K. I. Currie, S. H. Suanda, M. Williams, M. Bowen, D. Fernandez, R. Vennell, B. R. Knight, P. Barter, P. McComb, M. Oliver, M. Livingston, P. Tellier, A. Meissner, M. Brewer, M. Gall, S. D. Nodder, M. Décima, J. Souza, A. Forcén-Vázquez, S. Gardiner, K. Paul-Burke, S. Chiswell, J. Roberts, B. Hayden, B. Biggs, & H. Macdonald (2019). Developing an Integrated Ocean Observing System for New Zealand. *Front. Mar. Sci.* 6:143. doi: 10.3389/fmars.2019.00143.
- Snowden, J., D. Hernández, J. Quintrell, A. Harper, R. Morrison, J. Morell, & L. Leonard (2019). The US Integrated Ocean Observing System: Governance Milestones and Lessons from Two Decades of Growth. *Front. Mar. Sci.* 6:242. doi: 10.3389/fmars.2019.00242.
- Soto, D., J. León-Muñoz, J. Dresdner, C. I. Luengo, F. J. Tapia, & R. Garreaud (2019). Salmon farming vulnerability to climate change in southern Chile: understanding the biophysical, socioeconomic and governance links. *Reviews in Aquaculture*, 1-21. doi: 10.1111/raq.12336.
- Stocker, T.F., 2015: The silent services of the world ocean. *Science*, 350, 764-765. doi:10.1126/science. aac8720.
- Trowbridge, J., R. Weller, D. Kelley, E. Dever, A. Plueddemann, J. A. Barth, & O. Kawka (2019). The Ocean Observatories Initiative. *Front. Mar. Sci.* 6:74. doi: 10.3389/fmars.2019.00074.
- Urquiza, A., C. Amigo, M. Billi, G. Brandão, & B. Morales (2018). Metálogo como herramienta de colaboración transdisciplinaria. *Cinta de Moebio. Revista de Epistemología de Ciencias Sociales*, (62), 182-198. Consultado de Baker, D. J., M. M. Glackin, S. J. Roberts, R. W. Schmitt, E. S. Twigg, R. A. Weller, & D. J. Vimont (2019). The Challenge of Sustaining Ocean Observations. *Front. Mar. Sci.* 6:105. doi: 10.3389/fmars.2019.00105.
- Weller, R.A., D. J. Baker, M.M. Glackin, S.J. Roberts, R.W. Schmitt, E.S. Twigg, & D.J. Vimont (2019). The Challenge of Sustaining Ocean Observations. *Front. Mar. Sci.* 6:105. doi: 10.3389/fmars.2019.00105.
- Yáñez, E., N.A. Lagos, R. Norambuena, C. Silva, J. Letelier, K. P. Muck, G. San Martín, S. Benítez, B. R. Broitman, H. Contreras, C. Duarte, S. Gelcich, F. A. Labra, M. A. Lardies, P. H. Manríquez, P. A. Quijón, L. Ramajo, E. González, R. Molina, A. Gómez, L. Soto, A. Montecino, M. A. Barbieri, F. Plaza, F. Sánchez, A. Aranís, C. Bernal & G. Böhm (2017). Impacts of climate change on marine fisheries and aquaculture in Chile. *Climate Change Impacts on Fisheries and Aquaculture: A Global Analysis*. DOI: 10.1002/9781119154051.ch10. 1:239.

Tabla 1: Variables y procesos oceanográficos y climáticos rutinariamente medidos en sistemas de observación y las tecnologías usadas para tal fin

Variables medidas <i>in situ</i>	Instrumentos / sistema/plataforma	Tecnología usada
Nivel del mar mareas	Estaciones mareográficas costeras, altímetros, ecosondas	Mareógrafos de presión y acústicos, altimetría satelital
Altura y período de ola	Boyas acelerométricas	Sistemas ópticos, Teledetección SAR satélites
Dirección, frecuencia y espectro de olas	Red de radares de Alta Frecuencia en tierra	Direccional Wave Buoy, sistemas de modelos de predicción
Corrientes superiores y perfiles verticales	Perfiladores acústicos Doppler (ADCP) y correntómetros sobre boyas o buques	Hidro-acústica y velocímetro
Variables meteorológicas, temperatura de aire, presión atmosférica, humedad, velocidad y dirección del viento, radiación solar	Sensores boyas, estaciones meteorológicas costeras automáticas en línea, torres, buques, satélites	Telemetría con usando VHF, HF
Precipitación	Radar meteo	Microonda electromagnética
Radiación fotosintética activa	<i>in situ</i> sensor sobre boya	Sensores cuánticos
Temperatura superficial del mar Temperatura en profundidad	Sensores <i>in situ</i> en boyas fijas o a la deriva, CTD el principio de la medida eléctrica. Termistores Radiómetros satelitales	Semiconductores Advance Very High Resolution Radiómetros Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS)
Salinidad	– Sensores <i>in situ</i> , salinómetro muestras discretas – Termosalinografos	Conductometría
Oxígeno disuelto	Sensores <i>in situ</i> , muestras discretas	Electroquímico y óptico
Color (clorofila)	Scanner, muestras discretas, fluorometría	Ocean Color and Temperature Scanners (OCTS)
Nutrientes	Sensor <i>in situ</i> (solo nitrato)	Submersible Ultraviolet Nitrate Analyzer
pH, Sistema carbónico, pCO ₂	Sensores <i>in situ</i>	Ion sensitive field effect transistor, espectrofotometría, avity ring down spectroscopy
Turbidez cCOD, y partículas	Sensores <i>in situ</i> en plataformas, instrumentos acústicos	Transmisómetro, sistemas acústicos y sensores ópticos en satélites
Reflectancia (detección de derrames de aceites, petróleo)	– Contadores de partículas <i>in situ</i> – Radiómetros satelitales	Radiómetros en satélites



Tabla 2: Objetivos, metas y valoración por etapas planificada del SIOOC

Objetivos	Metas e hitos	Acciones
Etap 1	1. Analizar un sistema de gobernanza, costos específicos y gestión apropiada para cada etapa. 2. Establecer los compromisos para el SIOOC con distintos grupos. 3. Integrar los sistemas ya existentes en Chile en plataforma informática. 4. Capacidades habilitantes y transferencia tecnológica.	Catastro de equipamiento y recursos humanos comprometidos TDR para laboratorio de calibración nacional y centro de manejo de datos. Capacitación de RRHH en taller nacionales y en el extranjero. Asesoramiento nacional (viajes y consultorías). Asesoramiento internacional (viajes y consultorías). Contratación de personal para integración de etapas.
Etap 2	1. Incorporar nuevo equipamiento, infraestructura. 2. Validación de datos. 3. Creación Centro del SIOOC. 4. Dar accesibilidad e interoperabilidad de datos disponibles y de información asociada.	Adquisición de nuevo equipamiento Laboratorio de calibración y validación de datos. Lanzamiento Centro de procesamiento y asimilación de datos oceanográficos. Contratación de personal. Compra de nuevo equipamiento. Mantenimiento y calibración de equipos. Habilitación de <i>big data</i> y otros repositorios ambientales.
Etap 3	1. Reforzamiento de valorización de servicios del estado y sociedad de SIOOC. 2. Crear estrategia comunicacional para uso frecuentes de información para la sociedad. 3. Cumplimiento de compromisos internacionales.	Talleres de capacitación a estamentos del Estado. Programa de educación marina Prensa escrita, radial, taller con sociedad civil. Lanzamiento del SIOOC en foros internacionales. Contratación de personal. Mantenimiento y calibración de equipos. Generación de capacidades y programa constante de transferencia tecnológica (actualización de tecnologías de la información).



MESA
OCÉANOS



COMITÉ
CIENTÍFICO
DE CAMBIO
CLIMÁTICO