

# Visión integrada de datos, información y monitoreo del cambio climático

COMITÉ  
CIENTÍFICO  
  
DE CAMBIO  
CLIMÁTICO



Financiado por  
la Unión Europea



# Visión integrada de **datos, información** y **monitoreo** del cambio climático

COMITÉ  
CIENTÍFICO  
DE CAMBIO  
CLIMÁTICO



## **Autores**

Humberto E. González, Laura Farías,  
Pablo A. Marquet, Juan Carlos Muñoz,  
Rodrigo Palma, Maisa Rojas, Alejandra  
Stehr, Sebastián Vicuña.

## **Colaboradores científicos**

Deniz Bozkurt (UV-CR2), César Cárdenas (INACH), Raúl Cordero (USACH), René Garreaud (UChile-CR2), Ricardo Giesecke (UACH-IDEAL), José Luis Iriarte (UACH-IDEAL), Ricardo Jaña (INACH), Carina Lange (UdeC-IDEAL), Antonio Lara (UACH), Mauricio Lorca (DGA), Shelley MacDonell (CEAZA), Francisco Matus (UFRO), Laura Ramajo (UCN-CEAZA), Lorena Rebolledo (INACH), Andrés Rivera (UCHILE), Roberto Silva (FACH-Grupo Futuro MCTCI), Gastón Torres (DMC).

## **Apoyo**

Soledad Quiroz, Magdalena Radrigán

## **Citar como**

González, H., Farías, L., Marquet P., Muñoz, J., Palma-Behnke, R., Rojas, M., Stehr, A., Vicuña, S. (2021). Visión integrada de datos, información y monitoreo del cambio climático. Santiago: Comité Científico Asesor de Cambio Climático; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación doi: [10.5281/zenodo.5799685](https://doi.org/10.5281/zenodo.5799685)

Edición: Javier Enrique Vargas  
Fotografías: Javier Enrique Vargas

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>Abreviaciones</b> .....	<b>4</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>6</b>
Antecedentes .....	6
Dimensiones del problema .....	7
Visión .....	7
Desafíos de la integración y uso eficiente de datos e información en el país .....	8
<b>Enfoque ecosistémico y ciclos naturales para el monitoreo del cambio climático</b> . . .	<b>10</b>
Organizar los datos para obtener información. ....	11
Chile en su dimensión latitudinal: del seco/cálido norte, al húmedo/frío sur y al marítimo/polar Antártico .....	12
Chile en su dimensión meridional (cordillera-océano) .....	13
<b>Consideraciones para el monitoreo y la gestión integrada de los datos y la información del cambio climático</b> .....	<b>15</b>
Tipo de información y datos requeridos .....	15
Coordinación y gobernanza en el sistema de monitoreo y gestión de la información . . . .	17
<b>Recomendaciones</b> .....	<b>26</b>
Recomendaciones generales .....	26
Recomendaciones específicas .....	26
<b>Referencias</b> .....	<b>35</b>
<b>Glosario</b> .....	<b>42</b>
<b>Anexo 1</b> .....	<b>44</b>
<b>Anexo 2</b> .....	<b>47</b>
<b>Anexo 3</b> .....	<b>50</b>
<b>Anexo 4</b> .....	<b>51</b>

# Abreviaciones

<b>AMP</b>	Área Marina Protegida.
<b>ANID</b>	Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo
<b>CC</b>	Cambio Climático.
<b>CEAZA</b>	Centro de Estudios Avanzados en Zona Árida
<b>CG</b>	Cambio Global.
<b>CIEP</b>	Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia.
<b>CMM</b>	Centro de Modelamiento Matemático de la Universidad de Chile.
<b>CR2</b>	Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia
<b>DGA, PGN</b>	Dirección General de Aguas y Programa Glaciológico Nacional
<b>DMC</b>	Dirección Meteorológica de Chile
<b>ECMWF</b>	Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo.
<b>ENSO</b>	El Niño-Oscilación del Sur
<b>ESA</b>	Agencia Espacial Europea.
<b>EUMETSAT</b>	Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos.
<b>FAO</b>	La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
<b>GCOS</b>	Global Climate Observing System
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero.
<b>GOOS</b>	Global Ocean Observing System ( <a href="http://goosoocean.org">goosoocean.org</a> ).
<b>Gt</b>	Gigatonelada: Valor equivalente a 1000 millones de toneladas (109 ton. o 1015 gr.).
<b>FAN's</b>	Floraciones Algales Nocivas (del inglés HAB's, Harmful Algal Blooms)
<b>IAMSLIC</b>	International Association of Aquatic and Marine Science Libraries and Information Centers
<b>IANIGLA</b>	Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales.
<b>ITP's</b>	Institutos Tecnológicos Públicos. Algunos de ellos son; CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales), CIMM (Centro de Investigaciones Minero-Metalúrgicas), CCHEN (Comisión Chilena de Energía Nuclear), FCH (Fundación Chile), INACH (Instituto Antártico Chileno), IFOP (Instituto de Fomento Pesquero), INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias), INFOR (Instituto Forestal), IGM (Instituto Geográfico Militar), INH (Instituto Nacional de Hidráulica), INN (Instituto Nacional de Normalización), SAF (Servicio Aerofotogramétrico de la FACH), SHOA (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile), SER NAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería).
<b>INACH</b>	Instituto Antártico Chileno.

# Abreviaciones

<b>IOC</b>	Intergovernmental Oceanographic Commission.
<b>MCTCI</b>	Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.
<b>MMA</b>	Ministerio de Medio Ambiente.
<b>MOOPP</b>	Ministerio de Obras Públicas. Incluye nueva Subsecretaría de recursos hídricos.
<b>MRREE</b>	Ministerio de Relaciones Exteriores.
<b>MD</b>	Ministerio de Defensa.
<b>MODIS</b>	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer.
<b>NOAA:</b>	National Oceanic & Atmospheric Administration
<b>OCDE:</b>	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.
<b>RDA:</b>	Research Data Alliance.
<b>SCADM:</b>	Standing Committee on Antarctic Data Management
<b>SCAR:</b>	Scientific Committee on Antarctic Research
<b>SHOA:</b>	Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile.
<b>SNAM:</b>	Servicio Nacional de Alarma de Maremotos
<b>SNASPE</b>	Sistema Nacional de Areas Silvestres Protegidas
<b>CONAF:</b>	Corporación Nacional Forestal
<b>SNIA:</b>	Sistema Nacional de Información de Aguas
<b>SOOS:</b>	The Southern Ocean Observing System.
<b>TSM:</b>	Temperatura superficial de mar
<b>UNESCO:</b>	La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura



# Introducción

## Antecedentes

Durante 2019, el Comité Científico de Cambio Climático publicó 21 informes fruto del trabajo de las siete mesas temáticas<sup>1</sup>. Una de las debilidades transversales identificadas en esos informes fue la necesidad de contar con datos e información relevante para monitorear y abordar el estado y evolución del cambio climático en Chile. Posteriormente, el Comité fue contactado por la Oficina Futuro del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (MCTCI) a cargo de los proyectos “Data Observatory” ([www.dataobservatory.net](http://www.dataobservatory.net)) y “Observatorio de Cambio Climático” para iniciar acciones que permitieran cerrar las brechas de información respecto del monitoreo del cambio climático en Chile. La ejecución, funcionamiento y mantención de repositorios de datos de gran envergadura (“big data”) es un tema complejo, de largo período y, por tanto, necesariamente de Estado.

Para colaborar en este análisis se invitó a las mesas de agua, océano, biodiversidad y criósfera-Antártica del Comité, con el objetivo de consolidar las recomendaciones emanadas de los informes de dichas mesas en el trabajo realizado el 2019 y así contribuir con insumos y recomendaciones al equipo encargado de la implementación del Observatorio de Cambio Climático dentro del MCTCI.

En este documento se entrega una propuesta respecto de la gestión de datos, la información y el monitoreo del cambio climático en Chile. Se propone a lo largo del documento la necesidad de considerar como base los ciclos del agua (que en la circulación entre sus fases líquida, sólida y gaseosa se refiere en este documento como ciclo hidrológico) y el carbono (que en su reciclamiento entre organismos y medio ambiente se refiere en este documento como ciclos biogeoquímicos), incluyendo escalas espaciales y temporales de análisis, así como un tratamiento de los datos que consideren la dimensión geopolítica de Chile, su diversidad climática y ecosistémica, y los factores bióticos y abióticos que los determinan.

El documento se estructura en cinco partes. A continuación de los antecedentes se presentan algunos elementos que permiten caracterizar las dimensiones del problema, la visión que debe considerarse en el diseño de un sistema de monitoreo y los desafíos respecto de la integración y uso de eficiente de los datos. Se entrega posteriormente una descripción a partir de un enfoque ecosistémico de las múltiples interrelaciones en los ciclos naturales que deben ser consideradas al momento de diseñar un sistema de observación del cambio climático atendiendo las particularidades que presenta Chile en esta materia. Posteriormente se entregan un capítulo con las consideraciones técnicas (generales) y de gobernanza que debiese tener el sistema integrado de observación del cambio climático. Finalmente se concluye con algunas recomendaciones que sintetizan el trabajo realizado.

---

<sup>1</sup> [https://comitecientifico.minciencia.gob.cl/?s=&post\\_type=documento](https://comitecientifico.minciencia.gob.cl/?s=&post_type=documento)

## Dimensiones del problema

Para poder abordar el cambio climático es fundamental poder observar sus efectos y sus posibles causas. La evidencia empírica de lo que está ocurriendo en nuestro sistema climático es fundamental para guiar decisiones de adaptación y mitigación al cambio climático, para proyectar cambios futuros, evaluar riesgos y también para realizar atribución de eventos climáticos a diferentes causas. Para realizar todas estas tareas de manera informada se requiere monitorear una gran cantidad de variables de manera continua. Un aspecto relevante tiene que ver con la incertidumbre asociada a los impactos del cambio climático en las dimensiones espacial y temporal. Por ejemplo, en qué territorios o ecosistemas están ocurriendo y ocurrirán fluctuaciones de la temperatura o precipitaciones y en qué magnitud. Estas incertidumbres surgen de las complejas interacciones que ocurren entre las distintas componentes del sistema climático: la atmósfera, hidrósfera, criósfera, y biósfera. Por ejemplo, cuál es la capacidad de los ecosistemas de secuestrar versus emitir carbono, o cómo realizar el manejo eficiente de ecosistemas y sus recursos y evitar la degradación de los mismos. Otras incertidumbres importantes incluyen aspectos sociales, políticos, culturales y de financiamiento, que aseguren información confiable y continua, con registros en las escalas de tiempo asociadas al cambio climático.

El cambio climático es, en su esencia, un cambio en la dinámica de la biósfera, que tiene su origen en la modificación del balance radiativo del planeta producto de cambios en su capacidad de absorber y reflejar la radiación solar. Este balance depende de la composición de gases de la atmósfera (vapor de agua, dióxido de carbono, óxido nitroso y metano), la concentración de aerosoles (dióxido de azufre, carbón negro, entre otros), el albedo y la contribución de la superficie terrestre y océanos en absorber radiación. En este contexto, monitorear el cambio climático implica monitorear estos componentes a partir de observar los ciclos del agua y el carbono en las dimensiones espaciales y temporales discutidas en este reporte (**capítulos 2 y 3**).

El cambio climático ha sido uno de los catalizadores de la urgente necesidad de optimizar el uso de la información científica disponible acerca de los recursos naturales y parámetros climáticos. Sin embargo, es muy complejo integrar la información cuando proviene de diferentes disciplinas y sistemas. Se han propuesto alternativas como el “*System of Systems approach*” que busca sinergia entre disciplinas, donde se integra una gran cantidad de datos y sistemas para el estudio de problemas complejos asociados al cambio climático (Sebestyén et al., 2021).

A modo de ejemplo, el comité oceanográfico internacional ha llegado a la siguiente conclusión:

*“Los países no están equipados adecuadamente para administrar sus datos y su información sobre el océano, lo que obstaculiza el acceso abierto y el intercambio de datos” (UNESCO-IOC 2020).*

Las disciplinas terrestres y de la atmósfera no tienen una evaluación muy diferente, por lo que las brechas y vacíos identificados en este reporte requiere:

*“Más colaboración, más comunicación, y más intercambio de datos y códigos. El trabajo más estrecho de ecólogos y climatólogos y geofísicos, geólogos, oceanógrafos, físicos, modeladores, etc... Generarán resultados mucho más útiles y manejables para la sociedad” (Suggitt et al., 2017).*

## Visión

Las diversas áreas geográficas de Chile y sus ecosistemas están expuestas a diferentes amenazas e impactos tanto del cambio climático como de otras actividades humanas, directas e indirectas.

Estas, en su conjunto requieren ser analizadas desde una **perspectiva integrada** del estado de los recursos naturales vinculados a los ciclos biogeoquímicos, incluyendo al clima, agua, océano y suelo. Estos ciclos se retroalimentan e interconectan a través de sistemas terrestre, atmosférico y acuático, modificándose continuamente y afectando las funciones de ecosistemas naturales y sus servicios ecosistémicos. La forma de abordar este análisis es a través de evidencia científica (cantidad y calidad de la información, además de su nivel de incertidumbre) y la estrategia para adquirirla, administrarla, asegurar su calidad y finalmente distribuirla en forma de datos originales y/o procesados (índices, alertas, tendencias). Esto constituye un esfuerzo país necesario para afrontar los desafíos que nos presenta el cambio climático y realizar una buena gestión integrada de recursos a nivel de cuencas con el fin de maximizar el bienestar humano y la sostenibilidad de los ecosistemas que la integran.

## **Desafíos de la integración y uso eficiente de datos e información en el país**

En Chile existe un enorme volumen de datos e información científica dispersa, incompleta y fragmentada, que es relevante para entender el cambio climático y que requiere ser almacenada en repositorios que permitan clasificar, ordenar, integrar, y analizar esta información para dejarla disponible para usos diversos. Además, constantemente se está generando nueva información, asociada a proyectos de investigación nacionales e internacionales, por lo que es importante contar con mecanismos que permitan y potencien el flujo de información, sobre todo en aspectos que puedan ser clave para el monitoreo y evaluación de los impactos del cambio climático. Otro aspecto importante por considerar es que para monitorear el cambio climático se requieren registros continuos, es decir las fuentes de observaciones se deben mantener en el tiempo. Esto requiere entonces una institucionalidad que asegure la mantención en el largo plazo de los sistemas de observación.

Chile se caracteriza por una gran diversidad de condiciones climáticas, biogeográficas, hidrológicas y oceanográficas, que además presentan gradientes conspicuos de norte a sur y de este a oeste. Por ejemplo, cuencas y sectores con baja disponibilidad de un recurso limitante y de mucha demanda (ej. agua en el norte de Chile), se revierte en el extremo sur. Por ello, se requiere una red organizada de adquisición de datos, con protocolos comunes, que esté acorde a las necesidades e impactos locales/regionales y que sea lo suficientemente flexible para adaptarse a las cambiantes condiciones físicas, biológicas y de estructura de gobernanza que estos cambios conllevan. Se debe clarificar, que por ningún motivo se desconoce la relevancia de la información a escalas de tiempo cortas y datos específicos de cambios a nivel local. Este tipo de información, que surge desde los territorios es muy valiosa y relevante, y presta un gran servicio a muchos usuarios, desde las sociedades civiles, academia, hasta los distintos niveles gubernamentales. Sin embargo, el objetivo de este reporte es relevar la necesidad de integrar, ordenar, y analizar la información (tanto la existente, como la que se requiera para este objetivo), para hacerla más útil a los tomadores de decisiones y las políticas públicas sobre recursos fuertemente impactados. Como se indica en la visión, también es relevante incorporar la colaboración y desarrollo científico asociado a una política de datos abiertos a la comunidad. Un repositorio de datos integrados podría promover que las redes individuales vayan complementando y retroalimentándose, buscando una mejor automatización, con homologaciones de sensores, definición de estándares de medición, formatos de transmisión en línea, entre otros.

Por otro lado, las bases de datos e información científica para realizar un análisis pertinente sobre cómo se manifiesta el cambio climático en el país, están en su mayoría, dispersas, fragmentadas, poco asequibles, incompletas y desigualmente distribuidas en las diferentes regiones del país. Existen instituciones e iniciativas como las llevadas a cabo por la Dirección Meteorológica de Chile, el Sistema Nacional de Información del Agua, la dirección general de aguas, el Inventario y Monitoreo

de Ecosistemas Forestales del INFOR y el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado, entre las cuales se han definido muy buenas estrategias de monitoreo, con una visión de futuro y claras rutas de desarrollo e implementación. Sin embargo, cada una de ellas sólo dispone de una parte de los datos e información, con diversos niveles de cobertura y resolución espacial y temporal, y diferentes estrategias y niveles de disponibilización y acceso lo que dificulta poder acceder a una visión global del ciclo hidrológico y del carbono de las distintas cuencas a lo largo del país. En otras palabras, **no considera la globalidad de los ciclos del carbono ni del agua en la cuenca completa y su interacción con los sistemas terrestres, de la atmósfera y marinos**. Las tasas y flujos entre compartimentos para establecer modelos integrados a nivel de cuenca o macro-cuenca requieren de gran cantidad de datos (vegetación, suelo, acuíferos, glaciares, sistemas dulceacuícolas, marinos, etc.), y un gran desafío respecto a la integración de esta información con diferente carácter, resolución espacial, temporal y metadata asociada, en muchos casos deficiente o inexistente.

Desde el punto de vista de los ecosistemas, es importante destacar que **en la actualidad persiste un vacío en los derechos relativos a los ecosistemas y los servicios que ellos prestan. Por ejemplo, su rol en el secuestro versus exportación de carbono entre sistemas terrestres, marinos y la atmósfera, como parte de mitigación del CC en base a soluciones basadas en la naturaleza**. Esta situación es muy evidente en el caso de sub-sistemas asociados a los ciclos del agua (superficial y subterránea) y del carbono, en los variados tipos de humedales, tales como bofedales, marismas, ñadis, hualves, albuferas, mallines, turberas, así como en las zonas con permafrost. Estos sistemas proveen importantes servicios ecosistémicos en la regulación de los procesos asociados al uso eficiente de recursos (Levain et al., 2020), reduciendo los daños de impactos climáticos como inundaciones, y contribuyendo a la mitigación del cambio climático. La experiencia ha evidenciado que actividades antrópicas (usos mineros, contaminación por residuos domiciliarios e industriales, drenajes agrícolas etc.), afectan las funciones y servicios ecosistémicos que proveen estos sub-sistemas, como producción primaria, reciclaje de nutrientes, retención de sedimentos, depuración de agua y filtración de desechos, control de inundaciones, hábitat para vida silvestre y mantención de la biodiversidad y refugios de vida, recreación y esparcimiento, entre otros (CONAMA 2006). De éstas, la biodiversidad ha sido entendida como una característica esencial de la naturaleza, jugando importantes roles en la provisión de servicios ecosistémicos de los que dependen nuestras economías y subsistencia (Dasgupta, 2021). Por lo que el adecuado manejo, protección, conservación y expansión de estos sub-sistemas debería estar asociada a estrategias de mitigación al cambio climático, para evitar afectar negativamente partes de su ciclo, como ha ocurrido con las disminuciones de aguas subterráneas en el Norte de Chile, donde la gran relevancia de los humedales alto-andinos en la provisión y almacenaje de agua, contrasta con la escasa información disponible de estos sistemas (Valois et al., 2020a, b) y de los más de 40 mil humedales chilenos, los cuales entregan diversos servicios (WCS, 2019). A nivel global, los humedales representan solo un 3% del área terrestre, pero contienen cerca de un 25% del inventario global de carbono del suelo de sistemas terrestres (600 Gt C), lo que globalmente equivale a dos veces el carbono almacenado en los bosques (Loisel et al., 2021), y proveen servicios ecosistémicos globales estimados de 47 billones de dólares anuales (Nature Geosci. Editorial, 2021).

De lo antes mencionado, es fundamental entregar antecedentes y recomendaciones respecto a los datos e información científica, su gobernanza, las estrategias de análisis que contemplen los vacíos y brechas de información y conocimiento para optimizar herramientas que faciliten su uso para tomadores de decisiones, políticas públicas, educación, sectores público/privado, academia, entre otros. Esta necesidad nace de una creciente limitación en el uso y disponibilidad del recurso agua (cantidad y calidad), de un aumento en la ocurrencia de eventos extremos a nivel terrestre y marítimo y a un desconocimiento de los flujos de carbono en sistemas terrestres y marítimos.



## Enfoque ecosistémico y ciclos naturales para el monitoreo del cambio climático

En diferentes secciones de este reporte se plantea la necesidad de estudiar el ciclo del agua en Chile a nivel de cuenca hidrográfica, pues es un mismo recurso que sufre modificaciones en su tránsito de cordillera a mar y en su dimensión latitudinal, debido a su desigual distribución de norte a sur, tanto en su disponibilidad como demandas. Una eficiente gobernanza de la información respecto a los ciclos del agua y carbono es urgente. Sabemos que el 44% de las causas de los problemas hídricos se relacionan con una deficiente gestión del recurso (Broschek, 2019). Si consideramos que solo una escasa porción del agua global es apta para consumo humano (3%) y los ecosistemas de agua dulce solo contienen un 1% de este recurso, pues el resto está siempre congelado (69%) o es subterránea (30%) (Carpenter et al., 2011), tener datos confiables sobre el agua dulce es imperioso. A pesar de esta necesidad, la información disponible acerca de los cambios que ocurren en las descargas de los ríos como respuesta al cambio climático es escasa o inexistente, aunque se sabe que estos cambios son más frecuentes en cuencas impactadas por perturbaciones humanas, que en cuencas prístinas (Villarini & Wasko, 2021). En resumen, tenemos que la gobernanza del agua en Chile está muy fragmentada, carece de enfoque anticipatorio y socio-ecosistémico, resultando en una deficiente gestión integral (Billi et al., 2021).

Respecto a la criósfera, hace algunas décadas su monitoreo no era tan urgente como en tiempos actuales, donde el calentamiento global ha causado pérdidas de masa de los glaciares a tasas sin precedentes (Dussaillant et al., 2019). De esta forma, la naturaleza dinámica de los cambios ambientales debido al cambio climático debería orientar nuestros esfuerzos de monitoreo y adquisición de datos integrados. En la actualidad, la necesidad de mejorar los esfuerzos de adquisición de datos de la criósfera, su integración a nivel de ciclo del agua de las cuencas, y el disponer de dichos datos e información, en forma de evidencia científica para tomadores de decisiones y políticas públicas se hace fundamental, debido a factores y evidencia como: (i) La significativa pérdida de masa de hielo producto del cambio climático (Zemp, 2019); (ii) La reciente evidencia que los glaciares contribuyen con más de un 50% del agua para consumo humano durante el período seco (Crespo et al., 2020); (iii) La alta variabilidad latitudinal en el balance de masa y descarga de agua dulce de los glaciares chilenos (Schaefer et al., 2020); (iv) La escasa información de los glaciares rocosos y el permafrost y su rol hídrico en las cuencas del norte del país (Schaefer et al., 2019), por ejemplo, entre Atacama y Santiago hay más de 3.200 glaciares blancos y rocosos y ninguno de ellos protegido por parques nacionales<sup>1</sup> (Crespo et al., 2020); (v) el conocimiento básico de las áreas de Chile dominadas por re-

---

<sup>1</sup> F. Fernandoy & S. Crespo El Mercurio de Valparaíso 18 de octubre de 2020

gímenes de precipitación nival a pluvial y su relación con la magnitud, calidad y períodos de los flujos de agua recibidos “río abajo”; (vi) Muy limitado conocimiento de las aguas subterráneas en término de sus descargas y transformaciones químicas y biológicas en su recorrido desde sistemas terrestres a marinos; (vii) Cuencas hidrográficas degradadas con suelos erosionados por la acción antrópica, tala del bosque nativo, inclusión e invasión de especies exóticas, fragmentación de ecosistemas y cambio de uso del suelo y del área boscosa, excesiva intensidad de uso en áreas desprotegidas por el bosque, entre otras (Aburto et al., 2020). Todos estos impactos muestran la importancia de contar con información detallada y oportuna de todas las fuentes y sumideros hídricos. A su vez, se hace urgente proveer evidencia de la variabilidad en la cantidad y calidad del agua, y su interdependencia a lo largo de un *continuum* entre sistemas terrestre y acuáticos (Levieil & Orlove, 1990).

Una de las mayores amenazas que enfrenta la sociedad actual es la crisis del agua, mencionada como uno de los cinco principales riesgos por gravedad de impacto para la humanidad en los próximos 10 años, a lo cual se suma la posibilidad de fallar en los esfuerzos contra el cambio climático (World Economic Forum, 2020). Por su parte, las Naciones Unidas ha declarado la década que se inicia (2021-2030) como la “Década de Restauración de Ecosistemas” (Buckingham et al., 2019), lo que se insta como una oportunidad de establecer las bases para que, a través de una interfaz ciencia-política, se pueda fortalecer el manejo de nuestros océanos y sistemas terrestres para el beneficio de la humanidad (UNESCO-IOC 2020). Como parte de la biósfera, los ecosistemas de la criósfera terrestre y marinos son probablemente los componentes más importantes en los ciclos globales del carbono y agua, los que están fuertemente influenciados / afectados por el cambio climático (Reichstein et al., 2013).

Estos enormes desafíos solo pueden ser enfrentados adecuadamente si consideramos los múltiples aspectos que lo componen, y desarrollamos estrategias para cada uno de ellos. A continuación, se presentan algunos de estos retos.

## Organizar los datos para obtener información.

El estudio integrado de los ciclos del agua y carbono es muy complejo (**anexo 1**), por lo cual, usualmente se realiza en forma fraccionada, considerando procesos individuales y sistemas aislados, lo que proporciona importante evidencia científica, pero insuficiente. Por ejemplo, datos parcelados en una parte de la cuenca, resultan poco útiles para evaluar si un humedal emite o captura CO<sub>2</sub>, lo que lo hace insuficiente para los tomadores de decisiones.

Cabe mencionar que una conclusión importante de las distintas mesas temáticas del Comité Científico COP25 fue la necesidad de crear un Observatorio Nacional del Cambio Climático, lo que permitiría articular una red de sitios donde monitorear un conjunto de variables climáticas esenciales y variables esenciales de biodiversidad<sup>1</sup> y entender mejor la dinámica del impacto del cambio climático sobre los ciclos del carbono y agua. Ambos ciclos están involucrados en los procesos de captura, secuestro y emisiones de CO<sub>2</sub>, con importantes consecuencias sobre todos los ecosistemas naturales de Chile, especialmente cuando diversos modelos climáticos predicen disminuciones en las precipitaciones, particularmente en el centro-sur de Chile, y aumentos en las temperaturas en todo el país (Aguayo, 2019a, b). La urgencia de estas iniciativas radica en las tendencias globales a incrementar la demanda por agua dulce, el uso de suelos por actividades humanas, lo que ha resultado en pérdidas de la biodiversidad y en la reducción de humedales (Albert et al., 2021).

El manejo, cuidado y uso sustentable de los ecosistemas, requiere un sistema integrado y

---

<sup>1</sup> Una lista de las variables climáticas esenciales se puede encontrar en este sitio <https://gcos.wmo.int/en/essential-climate-variables> y las de biodiversidad aquí: <https://geobon.org/ebvs/what-are-ebvs/>

eficiente de datos e información de ellos, abiertos a todos los usuarios en formatos accesibles para diferentes segmentos de la población (ej. investigadores, docentes, estudiantes, tomadores de decisiones, organizaciones ciudadanas, hasta cualquier ciudadano que los requiera). Tomar decisiones y establecer políticas adecuadas requiere de evidencia científica, identificar prioridades y solucionar brechas en un marco ecosistémico.

## **Chile en su dimensión latitudinal: del seco/cálido norte, al húmedo/frío sur y al marítimo/polar Antártico**

Esta dimensión se caracteriza por un marcado gradiente y compleja variabilidad en las condiciones climáticas, meteorológicas, hidrológicas y oceanográficas. Esto resulta en que para un adecuado manejo y gobernanza de sus recursos y ciclos del agua y carbono sea necesario tener miradas regionales. El problema es complejo y multifactorial pues las condiciones físico-químicas y biológicas de los ecosistemas como pH, nutrientes, disponibilidad de oxígeno, entre otras, fluctúan fuertemente de norte a sur en Chile continental, y de costa a océano abierto y de superficie a fondo en el maritorio de Chile.

Un manejo más integrado requiere como primer paso, un análisis específico de los ciclos del agua y carbono en Chile, considerando diferentes zonas biogeográficas. Estas zonas pueden ser definidas de múltiples formas de acuerdo con criterios como los niveles de estrés hídrico, su nivel de demanda (personas y actividades productivas) y amenazas impuestas por el cambio climático (ej. sequía, eventos extremos locales y/o remotos, pérdida de masa glaciar). De acuerdo con estos factores, hemos identificado tres zonas biogeográficas mayores o macrozonas (véase **figura 1**). Las tres macrozonas tienen comportamientos y reservorios de carbono diferentes, esto implica que pueden atrapar o liberar CO<sub>2</sub>. Desde una vegetación árida/semiárida (zonas Andina y Xeromórfica) a un bosque templado húmedo (zonas Meso- e Hidro-mórficas), con gradientes importantes en el cambio de usos de suelo vinculados a actividades como la agricultura y plantaciones forestales, a una vegetación achaparrada y de tundra austral (zona Patagónica y Polar) (Villagrán & Armesto, 2005; Hinojosa et al., 2015).

En sentido latitudinal, Chile ofrece una alta diversidad de ambientes donde la dinámica de la materia orgánica generada en sistemas marinos y terrestres puede permanecer secuestrada por largos períodos de tiempo (décadas, centurias, milenios) en reservorios naturales (permafrost, humedales, fondos oceánicos, etc.), o ser rápidamente degradada por procesos biogeoquímicos y devuelta a la atmósfera como CO<sub>2</sub> en cortos períodos de tiempo (respiración, degradación bacteriana, etc.).

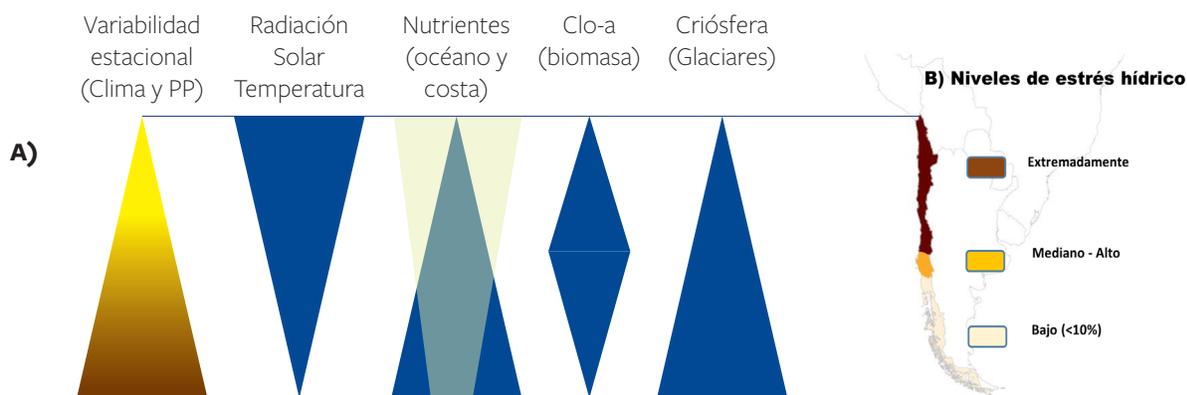
Figura 1

### Gradientes norte-sur y estrés hídrico

A) De izquierda a derecha: variabilidad estacional en los parámetros climatológicos (temperatura, radiación solar) y de producción primaria oceánica (PP), radiación solar y temperatura, nutrientes inorgánicos (nitrato, fosfato) en el océano abierto (azul) y costero (amarillo), Clo-rofila-a (Clo-a), y área o cantidad de glaciares a lo largo de Chile.

B) Expresado como cantidad de agua extraída de fuentes subterráneas y superficiales en comparación con el total disponible, de acuerdo con el modelo de Hofsted et al., (2019) (Paul, 2020).

Fuente: A) Elaboración propia. B) Paul (2020)



### Chile en su dimensión meridional (cordillera-océano)

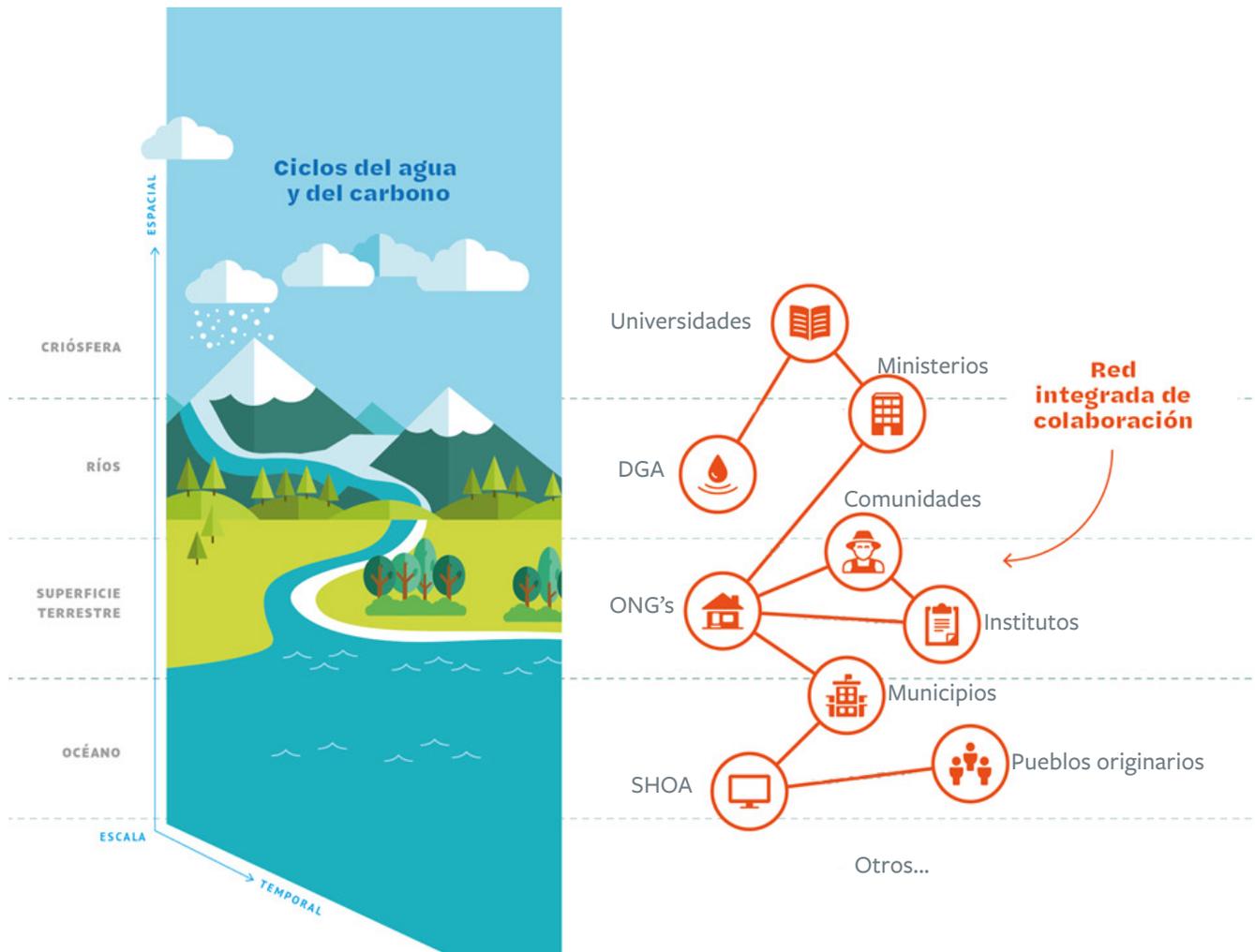
Para el análisis integrado de los datos e información, se debe considerar la resolución espacial, que en el caso del ciclo del agua sería la cuenca hidrográfica que incluye la trayectoria desde su fuente (glaciar, río, etc.) hasta su desembocadura en el océano (**Figura 2**). Los ciclos del agua y del carbono están íntimamente relacionados, por lo que las propiedades de un ecosistema son muy dependientes del área y condiciones, las cuales son variables y están en continuo cambio en respuesta a estresores naturales y antropogénicos como el cambio climático. El gradiente oeste-este señala importantes características climatológicas (patrón vientos, radiación, presión), hidrológicas (patrón precipitación, derretimiento estival) y oceanográficas, que tienen profundas implicancias en procesos biogeoquímicos en los ecosistemas terrestre y oceánico. Este gradiente este-oeste además es alterado por cambios a escalas temporales estacionales e interanuales que afectan finalmente los procesos biológicos.

Figura 2

### Esquema de una red integrada de monitoreo para el estudio de los ciclos del agua y carbono a nivel de cuenca

Se identifican instituciones (son sólo ejemplos, no representan todas las instituciones que potencialmente podrían participar) que recolectan información desde la alta cordillera (parte superior de la figura) hasta el océano (parte inferior). Se describe un hipotético recorrido del recurso hídrico (E-O) desde glaciares al océano. Estos compartimentos podrían estar conectados (líneas que unen a instituciones) en una red integrada de colaboración.

Fuente: modificado de Kühl et al., 2020.





# Consideraciones para el monitoreo y la gestión integrada de los datos y la información del cambio climático

A continuación, se entregan algunos de los elementos claves que deben ser considerados al momento de diseñar un sistema de monitoreo y gestión de los datos e información respecto del cambio climático. Se entregan primero algunos antecedentes respecto de los contenidos de este monitoreo y después algunos antecedentes respecto de la gobernanza esperada en la gestión del sistema.

## Tipo de información y datos requeridos

### Dimensión espacial y temporal

Dentro de una cuenca, la dimensión espacial prioritaria es la vía del agua desde su origen en la alta cordillera (ej. glaciares o manantiales), hasta su entrada a sistemas marinos costeros (ej. bahías, estuarios, fiordos). En su recorrido, el agua en su fase superficial transporta materia orgánica e inorgánica en distintos estados y grados de reactividad, además de nutrientes y organismos. En tanto que en su fase subterránea interactúa con la fase superficial o se almacena con una dimensión temporal diferente a la superficial. La dimensión temporal incluye tener un buen registro de la variabilidad en las cuatro estaciones del año, hasta una variabilidad interanual, idealmente decadal, que permita detectar cambios climáticos en la prevención de desastres como la asociación entre eventos El Niño y aluviones y avalanchas (Emberson et al., 2021). Además de escalas asociadas al cambio climático, escalas de corto período (horas a días), es muy necesaria para estudios sinópticos hidro-meteorológicos asociados a desastres de alta frecuencia (ej. frentes de mal tiempo) y tener gran impacto en la población.

En la dimensión latitudinal, el enfoque para caracterizar nuestro país es aún más complejo. Se ubica en una dimensión espacial N-S cuasi hemisférica, que considera > 5000 km desde ~17°S (Visiviri) a los ~53°S (Punta Arenas) y que se podría proyectar a >7.000 km hasta los ~68-80°S (Estaciones L. Carvajal y Glaciar Unión de INACH) en la Antártica.

## Análisis de ciclos y procesos

Es necesario considerar el agua o el carbono como parte de ciclos biogeoquímicos. Estos elementos permanentemente se van modificando en su trayecto producto de complejas reacciones químicas, biológicas y físicas. Factores como el volumen total de agua, el transporte en superficie o subterránea, el flujo rápido o lento, rol de los microorganismos, la cantidad y reactividad de la MO, el flujo de nutrientes, entre otros, son importantes para apoyar a los tomadores de decisiones con evidencia científica y mejorar la gobernanza de los datos asociados a los ciclos naturales (hídrico y carbono) a nivel de cuenca.

Un ejemplo de esto son los intercambios de almacenaje de carbono en sistemas terrestres (capaces de remover hasta 30% de las emisiones de GEI antropogénicas). El carbono removido por la vegetación, puede estar distribuido en sistemas de biomasa sobre o bajo el suelo. Parte de estos procesos y flujos de carbono están mediados por las concentraciones de CO<sub>2</sub> y la actividad de microorganismos, como los hongos (Terrer et al., 2021). En el caso de las turberas, eventos de sequías pueden cambiar el flujo de carbono desde sumideros a fuentes (de CO<sub>2</sub>) y donde el manejo del nivel del agua es una estrategia de mitigación importante (solución basada en la naturaleza) para mantener el rol de sumidero de carbono de estos sistemas (Salimi et al., 2021).

Es un tema complejo pues a nivel de cuenca, existen muchos sistemas interconectados de reservorios y flujos de carbono entre ellos, pero esta consideración, va en sentido de también considerar la interacción vegetación-suelo, en los modelos de almacenaje de carbono frente al cambio climático.

## El objeto de estudio es la cuenca que incluye otros sub-sistemas

Esta premisa se basa en los ciclos del agua y carbono los cuales van experimentando transformaciones cuali- y cuantitativas desde la alta cordillera hasta el océano formando un sistema integrado. Sin embargo, diferentes instituciones se hacen cargo de la recolección, análisis y repositorio de los datos en diferentes sectores de la cuenca. En general, se trata a este sistema integrado como si estuviera compuesto por compartimentos estancos, organizados en sub-sistemas como criósfera, sistemas de agua dulce lóticos y lénticos, humedales, bosques, predios agrícolas, sistemas acuíferos superficiales o subterráneos, hasta que finalmente desemboca en el océano (plataforma continental). Los sub-sistemas que componen una cuenca hidrográfica están conectados por este “sistema circulatorio” que aporta nutrientes, materia orgánica, gases (oxígeno, CO<sub>2</sub>, metano, etc.) para mantener la biodiversidad (flora y fauna) y la conectividad entre los cuerpos de agua (lagos, ríos, océano).

## Parámetros necesarios de considerar para caracterizar los ciclos del agua y carbono

Los parámetros más básicos, como el flujo del caudal, se obtienen principalmente a través de la Red Hidrométrica Nacional, la que cuenta con 650 estaciones que transmiten datos en línea a través del sistema satelital o de GPRS, que miden los siguientes parámetros: fluviométricos (caudal, nivel y temperatura del agua), meteorológicos (precipitación, temperatura y humedad relativa del aire), calidad de agua (pH, oxígeno disuelto, turbiedad y otros), nivométricos (altura de nieve y nieve equivalente en agua), como así también, los niveles y volúmenes de embalses y lagos<sup>1</sup> solamente en ríos asociados a reservorios para uso de la población o en el sector de energía hidroeléctrica. Sin embargo,

<sup>1</sup> En su mayoría, los datos se entregan cada 1 hora y puede sufrir modificaciones <https://snia.mop.gob.cl/sat/site/informes/mapas/mapas.xhtml> y [https://snia.mop.gob.cl/dgasat/pages/dgasat\\_param/dgasat\\_param.jsp?param=1](https://snia.mop.gob.cl/dgasat/pages/dgasat_param/dgasat_param.jsp?param=1)

factores como el origen del flujo (precipitación, glaciar, río, manantial), su variabilidad estacional (cantidad y calidad) y sus tasas de aprovisionamiento versus usos (huellas hídricas azul y verde), son brechas importantes del conocimiento para su adecuado manejo. Esta variabilidad depende en gran medida de su paso por sub-sistemas asociados y cómo estos modifican estas variables (cantidad y calidad del recurso agua y carbono). Si se transita por áreas del desierto nortino de uso minero, o las super-pobladas y de uso agrícola/ganadero de Chile Central, su variación en cantidad y calidad será muy diferente, al igual que debería ser su manejo. En este punto se hace necesario reforzar la idea que los índices, por ejemplo, de escasez hídrica, se pueden obtener en áreas pequeñas de un río hasta la cuenca completa, pero la disponibilidad y calidad de las mediciones determinan sus niveles de precisión y alcance (Rivera et al., 2004), así como su utilidad como suministro para tomadores de decisiones. El caso del carbono, es aún más precario en términos de monitoreo y disponibilidad de datos asociados a distintos ecosistemas en Chile. No tenemos un buen catálogo de los stocks de carbono en el suelo, ni de las tasas de captura o emisiones asociadas a los distintos ecosistemas, aunque existen esfuerzos (como la Base de datos Chilena de Carbono Orgánico en el Suelo, CHLSOC, Pfeiffer et al., 2019) para remediar esta situación.

## **Coordinación y gobernanza en el sistema de monitoreo y gestión de la información**

En su recorrido, el agua fluye por diferentes áreas sujetas a diferentes responsabilidades administrativas, políticas y económicas. Por tanto, diversas instituciones y comunidades se hacen cargo de recolectar y administrar los datos y la información científica. Cada una de ellas posee una parte del ciclo, lo que dificulta un análisis eficiente y completo. Desde la alta cordillera, donde instituciones como DGA-glaciares, universidades, institutos y centros científicos, FFAA (FACH), sector público/privado (empresas, Institutos Tecnológicos Públicos o ITP's), comienzan con la recolección de datos, la que es complementada desde diversas fuentes (información satelital, meteorología) (**ver anexo 2**). Luego, a nivel de los sistemas dulceacuícolas y forestales/agrícolas, hasta llegar al océano donde diversas instituciones como universidades, institutos y centros científicos, Armada de Chile (CONA-SHOA), sector público/privado (empresas, Institutos Tecnológicos Públicos o ITP's), adquieren, y almacenan la información (repositorios), la que es complementada desde diversas fuentes (boyas oceanográficas, información satelital, meteorología, etc.). Esta fragmentación, como hemos reiterado en este informe, impide una gestión eficiente y proactiva, y amplifica la incertidumbre ya que al no trabajar con el sistema integrado invisibiliza aspectos que pueden ser cruciales al minuto de proyectar y mitigar impactos.

### **Red colaborativa para el manejo de datos**

Para esta visión integrada, la información disponible (**ver anexos 1 - 4**), requiere ser organizada, depurada, determinar los vacíos y brechas de información, mejorar la gobernanza en la colecta, almacenaje y uso de los datos, y sugerir nuevas metodologías que puedan ser implementadas con un esfuerzo de muestreo adecuado (ej. radares, satélites, cruceros científicos, plataformas de monitoreo, campañas de muestreo, etc.), los que se pueden manejar en forma coordinada, asequible y sinérgica. Así, ecólogos, climatólogos, glaciólogos, oceanógrafos, y otras áreas del saber puedan actuar sinérgicamente, con una visión de ciclos naturales con una fuerte retroalimentación a nivel de ecosiste-

mas, además de ayudar a mejorar modelos predictivos de detección, prevención y monitoreo de los cambios futuros. La posibilidad de coordinar diferentes esfuerzos (**ver anexos 3 y 4**) que permitan realizar monitoreos a gran escala, solo es posible a través de una red de instituciones que incluya a la academia, el sector público y privado (DGA-Agua, DGS-glaciares, CONAF, IFOP, empresas acuícolas, etc.) y las comunidades locales (pueblos originarios, sindicatos, asociaciones vecinales, ONG's, establecimientos de educación, entre otros).

Una red colaborativa con un horizonte de décadas, y de datos compartidos de libre disposición (**anexo 4**), permitiría llevar a cabo análisis robustos de la variabilidad ambiental asociada a los ciclos del agua y carbono y permitiría disminuir la incertidumbre de los modelos predictivos. Estos aspectos también mejorarían los procesos para diseñar, implementar y evaluar estrategias, políticas y medidas, orientadas a mejorar la preparación y comprensión de los riesgos de desastres, además de contribuir a la reducción de los desastres provocados por el cambio climático.

Es importante el sentido de **“pertenencia y utilidad”** de la red; que sus miembros perciban la importancia de su quehacer para cubrir mejor las interrogantes acerca de las causas y tendencias de los recursos en la escala de cuenca.

A diferencia de las macrozonas que describen tendencias latitudinales (Norte-Sur) muy gruesas de los ciclos hidrológicos y de carbono, las cuencas corresponden a divisiones más precisas en segmentos meridionales (Este-Oeste o cordillera-mar) a lo largo de la geografía chilena y más asociada a los esfuerzos de recolección de información (mayor volumen de datos en la zona central y centro-sur), lo que coincide con los principales flujos, requerimientos, usos y transformaciones del recurso agua. Sin embargo, se debe mencionar que la cuenca hidrográfica sería la unidad en la cual se puede entender mejor la dinámica de estos ciclos, principalmente debido a los cambios que experimenta el recurso agua (ej. cantidad/calidad) y sus posibles impactos en el medioambiente que recorre, desde su origen (glaciar cordillerano) hasta su destino final en el océano, en la cual están todos estrechamente relacionados.

Se debe mencionar que existen diferentes percepciones y requerimientos de las instituciones involucradas: diversos sectores, tanto público, privado y academia han señalado que la unidad territorial mínima más importantes es la sub-cuenca (Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, 2021). Sin embargo, este requerimiento, más que orientado a ciclos hidrológicos e impactos del cambio climático, refleja una gobernanza que se remite solo a una parte del “puzzle” del ciclo en la cuenca, o en el caso de la academia, a una sola disciplina científica.

## Considerar el aporte de los pueblos originarios y comunidades en general

Los asentamientos de pobladores y las comunidades como pueblos originarios poseen un rico y variado acervo de información de los cambios que han experimentado los sistemas naturales y de su preocupación por el cuidado de estos ambientes, condición que ha sido reconocido en foros nacionales (Biskupovic et al., 2020) e internacionales (Nitah, 2021). Esta información (ancestral y actual) es muy valiosa e importante y requiere ser considerada en el análisis. En la cosmovisión de los pueblos originarios el agua tiene un lugar importante (ej. el Ngen-ko mapuche), posee además una nomenclatura que alude a sus distintas manifestaciones en el paisaje y les permite mantener largos registros orales de cambios que podrían ser muy complementarios a los estudiados por los centros científicos de excelencia. Son muchos los antecedentes que se van comunicando verbalmente a sus descendientes, como los cambios históricos que han experimentado la cobertura de glaciares o los cursos de agua. Todo esto constituye información valiosa en el marco del cambio climático, para

tomadores de decisiones y políticas públicas de conservación y manejo de territorios. La integración de este conocimiento ancestral y actual en repositorios podría realizarse a través de talleres, capacitaciones y trabajo conjunto entre pueblos originarios, academia y organismos gubernamentales.

### Consideraciones acerca de las características y manejo de los datos

*“Governments must ensure the information people need to adapt to climate change and manage natural risks is widely accessible, free (or cheap enough), and in a simple format that decision makers can use”*(Hallegatte et al, 2020).

La necesidad de acercar la ciencia a la sociedad y hacer disponible la evidencia científica (a bajo costo y en formatos sencillos, pero útiles) a los tomadores de decisiones, son tareas prioritarias en los tiempos actuales. Estos lineamientos han sido implementados desde el Ministerio de Ciencia, para proyectos financiados con recursos públicos los cuales son requeridos a depositar la información generada en repositorios de uso público y a comunicar la información a los tomadores de decisiones y a la comunidad en general.

Ante este contexto, se vuelve necesario considerar que se deben establecer ciertas directrices que permitan gestionar de manera coherente los datos para garantizar un uso adecuado, así como asegurar la calidad y acceso a los mismos. Por ello presentamos los criterios que debieran tenerse presente para elaborar una política de datos, con respecto a su recolección, análisis, manejo, almacenaje y uso, lo que ha sido llamado los principios y cadena de valor de las bases de datos (Wilkinson et al, 2016; Guidi et al, 2020).

Figura 3

### Principios y cadena de valor de las bases de datos

Fuente: elaboración propia.



### Política de datos

Las políticas de datos son herramientas importantes para establecer y regular las expectativas entre las partes interesadas sobre cómo y qué datos compartir, y cómo tratar los datos compartidos por otros. Como recurso primario para la ciencia y la colaboración científica, los datos deben gestionarse de acuerdo con principios ampliamente reconocidos. Una política de datos común aclara las obligaciones y estipula las normas con respecto al intercambio de datos, el acceso, la gestión, la preservación y el correcto reconocimiento de autoría. El acuerdo sobre estos principios facilita la investigación colaborativa. Por ejemplo, varias organizaciones que mantienen repositorios o políticas de uso de datos polares (i. e. SCADM, SOOS, SCAR, OCDE, RDA) han colaborado en la gobernanza y

<sup>1</sup> “Los gobiernos deben asegurar que la información que la gente necesita para adaptarse al cambio climático y manejar riesgos naturales es ampliamente accesible, gratis (o suficientemente barata) y en un formato simple que los tomadores de decisiones puedan usar”

uso de ellos<sup>1</sup>.

Los principios adoptados por el IPCC respecto del manejo de datos son los principios FAIR que se pueden describir a través de las siguientes premisas (Wilkinson et al., 2016; Stockhause et al, 2019):

- > Que se puedan encontrar (Findable): Con una ubicación única que facilite su identificación y localización a través de un localizador uniforme de recursos, URL, doi, handle u otro.
- > Accesible: Que sean abiertos, liberados y disponibles para todo usuario.
- > Inter-usable (Interoperable): Que esté en un formato y lenguaje de programación que permita ser usado en una amplia gama de aplicaciones.
- > Re-utilizable (Reusable): Una clara descripción de la metadata, metodologías y descripciones, de tal forma que pueda ser usada en diversos estudios. Que los metadatos sean los adecuados y estén claramente identificables. Este criterio requiere de un chequeo y validación previa de los datos.

### Adquisición de datos

Los datos deben ser recolectados y chequeados antes de ingresarlos a la base de datos. Es deseable entregar lineamientos generales (protocolos y procedimientos estandarizados) para mediciones de datos estándares y rutinarios (tasas de cambio en masa de glaciares, análisis químicos en agua dulce y salada, estimaciones de flujos de agua azul y verde, tasas de evapotranspiración, flujos de carbono, etc.). En ese mismo sentido, se debe incentivar el desarrollo de nuevas tecnologías de recolección automática de información (satelitales para sectores forestales, criósfera, océano, etc., anclajes oceánicos, estaciones de la criósfera, estaciones meteorológicas, etc.)

### Infraestructura de almacenamiento e Inter-operabilidad

Se debe tener en cuenta que los repositorios puedan ser operados por diferentes instituciones. Por ejemplo, que la data almacenada en CENDHOC (Centro Nacional de Datos Hidrográficos y Oceanográficos de Chile) pueda tener un acceso o ruta electrónica desde el Data Observatory. Además, se debe desarrollar un sistema eficiente de nube de almacenamiento y de herramientas analíticas. Es importante que los repositorios puedan comunicarse entre sí y que puedan interactuar con otros sistemas de información. Sería muy útil ponerse de acuerdo en protocolos, esquemas de metadatos, vocabularios y terminología. El desafío es grande pues requiere definir las propiedades y atributos del set de datos, los que junto a los protocolos (Open Archive Initiative – Protocol for Metadata Harvesting o OAI-PMH), puede facilitar una identificación, búsqueda, recuperación e integración a otras redes de la data disponible. Un ejemplo de iniciativa similar para generar puentes entre los datos y la ciencia podría ser “Giovanni” (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>).

### Perfeccionamiento de técnicos, investigadores y operadores de datos

Con respecto a la capacitación necesaria para quienes hagan uso y/o recolección de datos, se propone el desarrollo de talleres de capacitación, entrenamiento y manejo de herramientas para el uso eficiente de los datos, que consideren diversos tópicos como almacenaje y ordenamiento de datos,

<sup>1</sup> Ver <https://www.scar.org/scar-library/reports-and-bulletins/scar-reports/2717-scar-report-39/file/> y <https://www.scar.org/resources/scadm/about/>

modelos matemáticos, estadísticos, inteligencia artificial, aplicaciones para su archivo y entrega de la información (nubes de información, figuras, tablas, etc.). Además, se pueden realizar cursos de capacitación y perfeccionamiento en esta línea de ciencia de los datos, tecnología e innovación. Bayes Centre, Data Science, Technology and Innovation, de la Universidad de Edimburgo, UK han sido propuestos como respuesta a una creciente demanda por especialistas en datos de alto valor con habilidades para convertir las masivas reservas de información, en conocimiento para una mejor toma de decisiones (“high value data specialists with high level skills to turn stockpiles of information into knowledge for better decision making”). En Chile también ya existen alternativas para formar especialistas en Ciencia de Datos, enfocados a la gestión y análisis de datos (<https://ingenieria.uai.cl/diplomado/diplomado-en-data-science/>).

## Gobernanza de los datos

La gobernanza y uso de los datos e información científica asociada a los ciclos del agua y carbono es muy burocrática e ineficiente. Organismos internacionales como el Banco Mundial han indicado que la gobernanza del recurso agua en Chile es muy compleja, pues contempla la injerencia de múltiples instituciones públicas y privadas, además de la academia, en cerca de un centenar de asuntos administrativos.

En su recorrido, de cordillera a océano, el agua fluye por diferentes áreas sujetas a diferentes responsabilidades administrativas, políticas y económicas y donde la adquisición y administración de datos asociados a los ciclos del agua y carbono están alojados en diferentes instituciones de diferentes ministerios. Además, universidades, institutos, instituciones técnicas públicas y privadas alojan parte de los datos con diferente nivel de uso compartido. Cada una de ellas posee una parte del ciclo, lo que dificulta un análisis eficiente y completo. Desde la alta cordillera, donde instituciones como DGA-glaciares, universidades, institutos y centros científicos, FFAA (FACH), sector público/privado (empresas, Institutos Tecnológicos Públicos o ITP's), comienzan con la recolección de datos, la que es complementada desde diversas fuentes (información satelital, meteorología). Luego, a nivel de los sistemas dulceacuícolas y forestales/agrícolas, hasta llegar al océano donde diversas instituciones como universidades, institutos y centros científicos, Armada de Chile (CONA-SHOA), sector público/privado (empresas, Institutos Tecnológicos Públicos o ITP's), adquieren, y almacenan la información (repositorios), la que es complementada desde diversas fuentes (boyas oceanográficas, información satelital, meteorología, etc.). Esta fragmentación, como hemos reiterado en este informe, impide una gestión eficiente y proactiva y amplifica la incertidumbre ya que al no trabajar con el sistema integrado. Finalmente, esto redundante en que (i) se dispersan las responsabilidades sobre el manejo sustentable de los recursos, (ii) se maximiza la burocracia/gestión, (iii) se dificulta los accesos a la información, lo que resulta en análisis parcializados e incompletos y (iv) se invisibiliza aspectos que pueden ser cruciales al minuto de proyectar y mitigar impactos.

Dado que se requiere de análisis transversales, en los cuales diferentes instituciones son responsables de la recolección de datos y registro de la información requerida para un análisis de mayor nivel, la coordinación y/o supervisión podría estar a cargo de varios ministerios. Sin embargo, es necesaria una estrecha colaboración entre las instituciones involucradas en la recolección de datos y observación de los ecosistemas como, por ejemplo, la Dirección General de Aguas, el Ministerio de Defensa, la Dirección Meteorológica de Chile, además de universidades e institutos tecnológicos públicos, entre otros. Es pertinente agregar que se han realizado esfuerzos desde instituciones ligadas a recursos hídricos para coordinar sus acciones. En efecto, el Ministerio de Ciencia conformó la Mesa Técnica en Recursos Hídricos: “Investigación e Información Pública” para facilitar el acceso a

información para la toma de decisiones e investigación científica sobre recursos hídricos, recomendado la creación de una “Dirección de Información Hídrica”, que coordine la generación y gestión de la información hídrica del país (Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, 2021). Esta recomendación fue recogida por el Ministerio de Obras Públicas que presentó un proyecto de ley para la creación de una nueva “Subsecretaría del Agua” que aglutine las instituciones relacionadas con la gestión de los recursos hídricos, en un esfuerzo por tener una política de estado en materias hídricas.

Una buena gobernanza de los datos permitiría mejorar la adquisición de datos relevantes y necesarios a la vez que potenciaría estrategias de uso eficiente de los recursos. Además, se debe reforzar la idea de que un centralismo a nivel de almacenaje de datos, debería ir asociado a una gestión de gobernanza a nivel de territorios (cuencas). Todas estas iniciativas deben ir acompañadas de un trabajo de difusión sobre la utilidad y pertinencia de tomar información integrada a nivel de cuenca y el reconocimiento de que la adquisición compartida de datos mejorará el sentido de identidad y la calidad de la información.

La gobernanza de los datos incluye aspectos como buenas prácticas, la “calidad” del dato y la coordinación de los repositorios. Además, se debe asegurar una eficiente transferencia a los usuarios y velar por un financiamiento a largo plazo.

Las alianzas a nivel nacional e internacional son relevantes pues se debe asegurar una sólida red de colaboración, asegurando confianzas y estrategias “win-win” para garantizar el flujo de datos hacia los repositorios y finalmente hacia la comunidad en general, especialmente hacia los tomadores de decisiones.

Se debe considerar establecer unidades de manejo de datos considerando las singularidades de los territorios (sub-sistemas y procesos asociados a los ciclos del agua y carbono), además de las dimensiones espacio-temporales relevantes a los principales procesos afectados por el cambio climático. Para el territorio de Chile se considera la cuenca hidrográfica (dimensión Este-Oeste), y los cambios de los ciclos biogeoquímicos que afectan al ciclo hidrológico y su función como sumidero/fuente de carbono a la atmósfera.

Figura 4

**Pilares para el ordenamiento de la información**

Pilares para el ordenamiento de la información en un repositorio de datos que permita (i) organizar las redes de proveedores y usuarios de datos (buscar alianzas, crear confianzas y demostrar impactos), (ii) la distribución de la información a nivel de sub-sistemas dentro de una cuenca y (iii) optimizar la gobernanza de la información que a su vez permita buenas prácticas, coordinación, control de calidad, preparar personal especializado en tecnologías emergentes y un buen plan de financiamiento que permita la continuidad a nivel de estado

Fuente: modificado de Claudet et al., 2020.



En el **anexo 2** se entrega la información de la capacidad de información instalada en Chile y el extranjero, además de los sub-sectores de una cuenca donde se recolectan datos del ciclo del agua y carbono, y las instituciones responsables de estos datos. Contar con un sistema de datos e información útil para decisiones informadas requiere de una labor previa de educación y capacitación a nivel de repositorio de datos: (i) programas de educación transversal a todo nivel, desde educación primaria

a estamentos gubernamentales (ver ej. de alcaldías europea; Hernández et al., 2020), (ii) compromisos de mitigación del cambio climático a nivel de “Estado”, (iii) uso de “modelos predictivos” consistentes, (iv) mejoras en las plataformas de difusión de la información y (v) uso de mensajes directos y claros del significado de los riesgos, daño y/o amenazas del cambio climático para Chile.

Para el caso de servicios climáticos, por ejemplo, se ha pensado en cuatro pilares de comunicación de la información: (1) Generación de conocimiento; (2) Traducción de datos en información relevante, entendible y usable; (3) Realizar la transferencia del conocimiento a los receptores correspondientes con sus respectivos formatos. Dependiendo si la data e información va dirigida a diversos sectores como agencias (climáticas, del sector productivo, etc.), o suministro de evidencia científica para sector público o privado, o consiste en recomendaciones para tomadores de decisiones sobre ciclos hídricos o de carbono, o insumos para diversos sectores de la academia (ej. para uso en modelos predictivos), o para informar a la ciudadanía en general, deberían ser transferidos a un nivel que sea entendible y usable. Sólo así podemos usar el mejor formato de transferencia, el mejor proceso, la mejor forma de “dar valor agregado” esta información y finalmente (d) cómo usar esa información o conocimiento para traducirla en decisiones, políticas y prácticas (Findlater et al., 2021).

### **Brechas del conocimiento y buenas prácticas en el uso y manejo de los datos**

A nivel nacional sabemos que hay mucha información que se encuentra dispersa, de difícil disponibilidad o simplemente, no asequible y/o accesible. Se aprecia en general buena disposición a compartir datos e información por parte de instituciones públicas y privadas, pero los protocolos de acceso son complejos. Se requiere un sistema de acceso simple con protocolos y acciones concretas y bien documentadas. Esto facilitaría que el gran repositorio centralizado fuera creciendo y entregando más servicios a la comunidad en general. Para ello se vuelve necesario implementar buenas prácticas que permitan abordar las brechas de acceso al conocimiento.

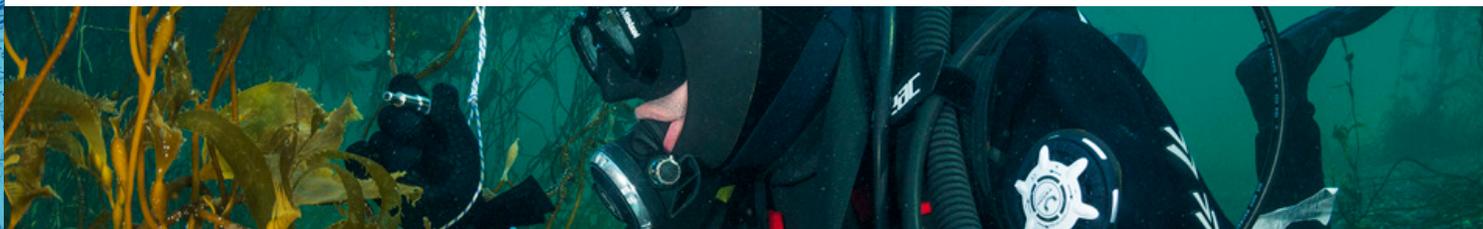
Por otro lado, existen importantes vacíos de información en sistemas naturales (océanos, criósfera, ecosistemas terrestres) asociados a falta de información en todos los ámbitos, pero especialmente en los extremos del ciclo del agua: alta montaña y océano profundo. En estos lugares, la naturaleza dinámica de los glaciares y la dificultad del muestreo en el océano profundo dificultan la mantención de equipos y obtención de datos. Adicionalmente, se requiere información conjunta (sinóptica) de estos sistemas y un seguimiento de los cambios en gradientes desde la alta cordillera al océano. Por ejemplo, seguimiento en transectas E-O, cordillera-mar u otras con sentido criósfera-terrestres-océano. Otro vacío importante en el estudio del ciclo del agua es la falta de información en la oferta de aguas subterráneas y en datos hidrometeorológicos (Radiografía de Agua. Brecha y riesgo hídrico en Chile, 2019; Stehr et al., 2019), además de la dinámica de hielo y nieve. Esto contrasta con el mayor (aunque insuficiente) conocimiento de las aguas superficiales. Desde la perspectiva de la disponibilidad de agua dulce, las tendencias mayores indican una gran pérdida de masa de hielo asociado a los campos de hielo y una progresión de períodos más húmedos a más secos en la zona central de Chile (Rodell et al., 2018).

También se identifica la falta de soporte y formación de capital humano especializado para la mantención, calibración, reparación y reemplazo de la infraestructura. En cuanto a las escalas espaciales y temporales y considerando la perspectiva de análisis de cuenca hidrográfica para el análisis de cambio climático (Stehr et al., 2019) se requieren series de tiempo largas (decadales), que idealmente permitan identificar la variabilidad atribuible al cambio climático por sobre la atribuible a otros factores. Además, se vuelve necesario incorporar el concepto de resolución espacial (ej. 10 x 10 m, 5 x 5

km, hasta escala global) y temporal (diaria, mensual, anual, decadal, centenal y milenial) al detalle de la información recolectada.

A raíz de este análisis, las buenas prácticas que se debieran considerar son:

- > **Mejorar e incentivar las prácticas de almacenaje y uso de datos para estudios de análisis de ecosistemas:** Se propone (i) citar referencias o fuentes de datos climáticos (ii) definir el marco temporal y espacial de los datos. (iii) para estaciones meteorológicas en la criósfera y anclajes oceánicos incluir toda la data de posición geográfica, elevación, fechas, etc. (iv) indicar acceso a datos originales y cómo fueron validados (“limpiada”), por ejemplo, sugerir escalas de validez y confiabilidad de la data, o en algunos casos la “edad” de la data, dado que podría conducir a incerteza adicional cuando está asociada a metodologías obsoletas (Murray et al., 2021). En caso de provenir de repositorios, proveer URL estable, data usada (Morueta-Holme et al., 2018).
- > **Definir alianzas estratégicas:** Se requiere el compromiso de muchas instituciones (academia, sector público y privado y la sociedad en general), que aporten sinergia para la instauración de bases de datos eficientes, útiles a los tomadores de decisiones. Esto aportaría con nuevas ideas, soluciones, acuerdos entre usuarios que apoyen colaboración y eviten conflictos sobre recursos hídricos y finalmente aplicaciones en un horizonte de desarrollo sustentable frente al cambio climático. A nivel internacional se debe establecer colaboraciones con instituciones relevantes para la realidad nacional (e. g. GeoCARB, SOCCOM, NEON). En caso de provenir de repositorios, proveer URL estable, fecha de acceso, entre otros (véase Morueta-Holme et al., 2018).



## Recomendaciones

Respecto a una gobernanza más eficiente sobre el uso, manejo y análisis de datos e información científica en Chile, se entregan recomendaciones generales y específicas.

### Recomendaciones generales

1. Posicionar a Chile como el principal centinela del CC a nivel regional, nacional y global. Esto aprovechando las ventajas comparativas (geográficas, laboratorios naturales, etc.) para entender, predecir y monitorear los efectos, riesgos y amenazas del cambio climático.
2. Potenciar la integración de bases de datos y repositorios a nivel local, regional, nacional e internacional. Establecer plataformas eficientes para la gobernanza centralizada (ministerios) de datos aprovechando las capacidades instaladas. Esto considera sector público, privado, academia y sociedad en general (incluye información ancestral).

### Recomendaciones específicas

1. Potenciar el sistema centralizado de datos en Chile a través del Observatorio de Cambio Climático, apoyado en un directorio donde participen los principales “*stakeholders*” como instituciones gubernamentales, universidades, centros de investigación, sectores público y privado, comunidad, pueblos originarios, FFAA. Una de las principales tareas de este sistema centralizado de datos es lograr un sistema de gobernanza de los datos e información científica que sea eficiente, velando por un uso adecuado (abierto, accesible, ubicable) y seguro. Además, la plataforma permitiría almacenar un gran volumen de datos desde el norte de Chile (17°S; Visviri), hasta la Antártica (67°S; Base Tte. Luis Carvajal de INACH).
2. El Comité Científico para el Cambio Climático ha promovido la observación integral del océano con la finalidad de entregar insumos sobre mitigación y adaptación al cambio climático (y de los impactos posibles, como por ejemplo en actividades productivas (i.e. acuicultura y floraciones algales nocivas) (Farías et al., 2019a,b). Sin embargo, a pesar del importante rol del océano en la dinámica de los ciclos biogeoquímicos del agua y carbono, existen profundas brechas respecto de fenómenos clave donde se requiere más información (ej. nexo clima-océano, bomba biológica del

océano, interacción tierra mar), que permita estrechar los vínculos entre ciencia y políticas públicas sobre el cambio climático y fortalecer los compromisos país (NDC, ECLP), así como en la gobernanza de datos e información (Farías et al., 2019a,b). En este contexto, es importante contar con un adecuado monitoreo de situaciones que sabemos o hipotetizamos, son gatilladas entre otras causas, por el cambio en el clima. Ejemplo de estos son las floraciones algales en la Patagonia, fenómeno que representa un desafío interdisciplinario y que debiera ser monitoreado con detalle (León-Muñoz et al. 2018), incluyendo el sistema terrestre, costero y marino (desde las cuencas al fiordo costero, al océano), lo mismo es aplicable a los incendios forestales cuyo impacto en las emisiones puede ser catastrófico.

3. Aprovechar la experiencia de instituciones históricas en este desafío (por ejemplo, DGA, DMC) y potenciar la red que cubren actualmente, asegurando su buen funcionamiento **con recursos financieros adecuados**. El Observatorio de Cambio Climático del MCTCI debería buscar los mecanismos para establecer el flujo de información entre estas redes de larga data con los diversos repositorios de organismos públicos y privados a lo largo de Chile. Cabe agregar que hay regiones geográficas importantes que aparecen muy desprovistas de información, a pesar de su relevancia en la toma de decisiones en el marco del cambio climático. Ejemplos de esto son: (1) La red hidro-meteorológica actual se debe ampliar para cubrir vastas regiones de Chile desprovistas de datos continuos (alta cordillera, sectores remotos de la Patagonia, son algunos de ellos). (2) A nivel de la Antártica, se aprecia una muy limitada capacidad de observación meteorológica y oceanográfica que requiere ser reforzada.
4. Realizar una mejor caracterización y análisis de las **escalas espaciales** (ej. cuenca hidrográfica) y **temporales** a utilizar en los estudios de ciclos naturales e impactos antropogénicos (ciclos hidrológicos, biogeoquímicos, atmosféricos, etc.). Estos van desde diarios (variabilidad diurno-nocturno), estacional (ej. invierno-verano), inter-anual (variabilidad de pocos años), decadal (fluctuaciones asociadas a cambios océano-atmósfera, teleconexiones, eventos ENSO, SAM, etc.) centenal - milenial (cambios paleoceanográficos, geológicos y atmosféricos). A nivel de cambio climático, organizar el sistema de observación de sistemas terrestres, oceánicos, atmosféricos y de la criósfera, con especial énfasis en las variables (estresores) que están siendo impactadas. Por ejemplo, las variables climáticas esenciales definidas por GCOS. (<https://gcos.wmo.int/en/essential-climate-variables>).
5. Establecer una red integrada de monitoreo a nivel de **cuenca hidrográfica** que considere los ciclos del agua y carbono. Esto considerando las realidades climáticas, hidrográficas y oceanográficas regionales de Chile bajo una perspectiva espacial latitudinal y longitudinal y temporal que cubra la variabilidad desde diaria hasta inter-anual. Por ejemplo, respecto al cambio climático, la DGA (2017) recomienda (i) cuantificar a nivel de cuenca la elasticidad de la escorrentía con respecto a las precipitaciones y su sensibilidad respecto a la temperatura. (ii) usar modelos GCMs para caracterizar la interacción entre precipitación y temperatura en estimaciones de cambio hidrológico y seleccionar modelos climáticos en base a métricas específicas de sensibilidad hidrológica y (iii) y considerar cambios en la frecuencia e intensidad de eventos hidro-meteorológicos extremos.

6. Identificar **protocolos y buenas prácticas** en la medición y monitoreo de variables asociadas a los ciclos del agua y carbono que sean aceptados internacionalmente (incluye reactivos de calibración, validación, equipamiento, replicación, etc.). La validación requiere de un chequeo de la información, su confiabilidad y la calidad de las series de datos que podrían ser catalogadas acorde a criterios establecidos (“*quality flags*”) (IOOS, 2014). Se ha estimado que entre 5% y 10% de las publicaciones presentan conclusiones que no tienen sustento en sus datos, por lo que un repositorio público y abierto, podría prevenir y ayudar a corregir estos errores, ampliar el horizonte de análisis hacia nuevas preguntas científicas, incrementar la visibilidad (y el impacto) de los datos, ampliar la oferta de datos para labores de enseñanza y aprendizaje y guardar los datos en un lugar seguro (Whitlock, 2011).
  
7. Mejorar el **uso de los datos**, identificando claramente la metadata asociada. Por ejemplo, en el caso de datos del ciclo hidrológico, identificar la proveniencia, características generales como salada-salobre y sólida-criósfera. En una segunda etapa se recomienda dar valor agregado a los datos, con un análisis integrado a nivel de cuencas y considerando la interrelación sociedad-ecosistemas. Por ejemplo, uso de modelos predictivos, y análisis a nivel de gradientes de una cuenca hidrográfica: cambio en las características químicas y estequiometría desde glaciares al océano, cambio en el secuestro versus emisión de carbono en diferentes sub-sistemas de la cuenca (bosques, humedales, etc.). Esto permitiría entregar un insumo de alto valor científico a los tomadores de decisiones y a las políticas públicas, por ejemplo, mejorar la normativa de uso de recursos hídricos incorporando el cambio climático (Stehr et al., 2019), incorporar lineamientos de contribuciones determinadas con el borde costero (NDC’s), enfocadas en la reducción de emisiones (GEI) y relevar la importancia del agua dulce en la mantención de los servicios ecosistémicos del océano (Farías et al, 2019a,b).

Las **principales brechas** para entender estos procesos dicen relación con: (i) Los centros de mayor actividad en el intercambio océano-atmósfera de carbono están muy pobremente monitoreados. (ii) Que además de los ríos, existen otras importantes fuentes de agua dulce con carga de carbono terrestre al océano (agua sub-superficial, intercambio de agua marisma-océano, derretimiento de glaciares a nivel subsuperficial, etc.). (iii) y que existe muy poca información acerca de las “fuente” de CO<sub>2</sub> desde el océano a la atmósfera (como algunas áreas de surgencia) y “secuestro” de CO<sub>2</sub> (como cañones, trincheras, áreas de alta productividad). El carbono de origen terrestre que penetra en el océano costero chileno tiene su mayor expresión en la zona del Golfo de Penas, donde la pluma de agua dulce que penetra el océano es el resultado de grandes ríos (ej. Pascua, Baker) y glaciares (ej. Campo de Hielo norte y sur, Glaciar Stefen, Glaciar Jorge Montt). La red de monitoreo chilena, debería tener especial atención en estos centros de activo intercambio de carbono entre el océano y la atmósfera. Los nodos que definen celdas atmosféricas y definen patrones globales de circulación oceánica son áreas donde un muestro de largo y sostenido es fundamental para entender el cambio climático.
  
8. **Planificación de uso y acceso a los datos:** La información debe quedar disponible, así como el conocimiento científico generado (abierto a todos, sin restricciones). Por ello se debe asegurar la transparencia y transferencia de datos y tecnologías lo

cual es una responsabilidad de la comunidad que funciona en base a recursos públicos, mientras que asegurar los recursos para su funcionamiento es responsabilidad del estado (en una glosa y no al albedrío del gobierno de turno). Estas prácticas son importantes para asegurar medidas y decisiones políticas informadas (en la mejor ciencia disponible) y manejos sustentables de los recursos asociados a los ciclos hidrológicos y de carbono. Recientemente ANID ha declarado públicamente la implementación de apertura de datos, transparencia y disponibilidad de la información para el uso de la ciencia y sectores amplios de la ciudadanía. Para los proyectos con financiamiento público se podría implementar en los contratos, que la entrega de la información es obligatoria y requisito para los subsidios futuros, esto bajo una premisa de “fondos públicos - datos públicos”. Obviamente esto requiere ajustar períodos de entrega de los datos, suficientes como dar prioridad de publicación a los investigadores que entregaron la información. Estos procedimientos ayudarían a promover una cultura de compartir y hacer disponibles los datos recolectados por diferentes sectores financiados con recursos públicos. Una política exitosa en este sentido podría incluso ser acogida por centros e instituciones que realizan investigación científica con recursos privados. En esta política de información pública, tanto generada como recopilada, el sector público es el que reporta el mayor porcentaje (54-59%), mientras que el sector privado como la academia reportan valores muy bajos (<14%) (Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, 2021).

9. Desde la perspectiva social y ecológica se podría considerar **categorías de almacenamiento** de la información: agua azul (uso humano), agua verde (asociada a evapotranspiración). Mientras que, en el ciclo del carbono puede estar referido a estados de la materia (particulado, disuelto, gaseoso), su contenido químico (carbono, orgánico, inorgánico), su reactividad (lábil, recalcitrante, semi-lábil), su tamaño (pico-, nano-, micro-, etc.).
10. Dar “**valor-agregado**” a los **datos analizados**, con relación a la interacción entre ambos ciclos (agua y carbono) y a nivel desde pequeña a gran cuenca para lo cual se recomienda: (i) identificar los sub-sistemas (glaciares, ríos, humedales, bosques etc.) del ciclo del agua y carbono que actúan como “fuente” o “sumidero” de carbono. Esto en su dimensión espacial (cordillera a mar) y temporal (desde estacional hasta interdecadal); (ii) Monitorear rendimiento, almacenamiento, estacionalidad y la calidad del agua en el tiempo en las cuencas con (a) plantaciones, en comparación con bosques nativos, pastizales, matorrales o tierras agrícolas o (b) bosques nativos sin perturbar, en comparación con los bosques nativos afectados por la cosecha, fuego, pastoreo o las perturbaciones naturales como el vulcanismo (Jones et al., 2017). (iii) Elaborar una estrategia de muestreo que permita evaluar cómo escalan estos efectos desde pequeñas cuencas a grandes cuencas. (iv) considerar datos meteorológicos que permitan evaluar cómo varían los efectos según la estación, el tipo de clima o con el cambio en el clima. (Jones et al., 2017). (v) evaluar los cambios en los usos de los diversos sectores de la cuenca (productivo, urbanístico, etc.) en la capacidad de mantener los ciclos de agua y carbono “saludables” y acordes con las metas de sustentabilidad y compromisos con el medio ambiente (contribuciones determinadas nacionales, NDC ‘s) suscritos por Chile (Farías et al., 2019a). Por ejemplo, dependiendo de los usos del suelo (ej. bosque nativo versus agricultura),

o del borde costero (con o sin acuicultura), el agua que fluye en gradientes desde sistemas terrestres a oceánicos de la Patagonia, muestran fluctuaciones en la carga de materia orgánica disuelta, nutrientes y un posible impacto en la acidificación del borde costero (González et al., 2019, Curra-Sánchez et al., 2022).

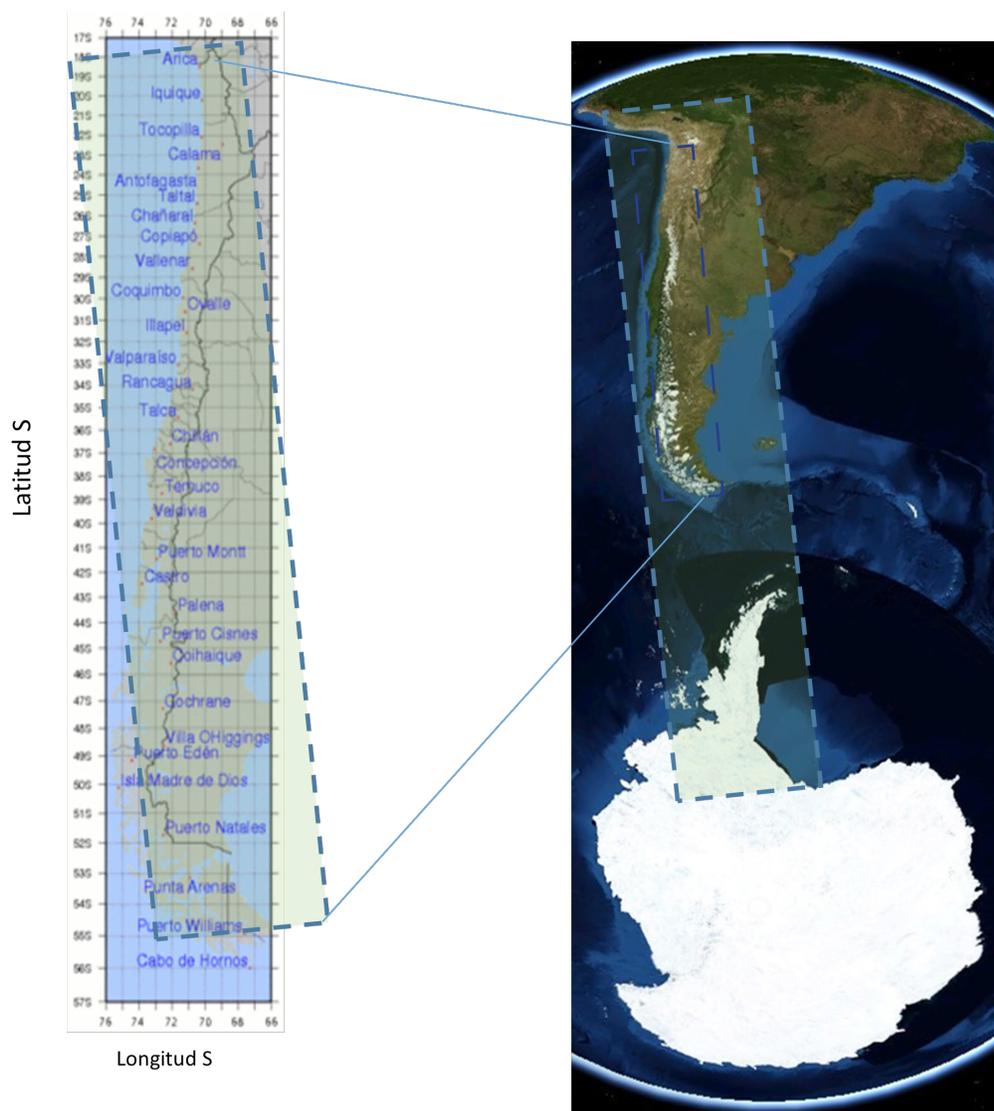
Este tema ha sido discutido en foros internacionales, indicando que muchos de las plataformas y servicios asociados, por ejemplo, al clima (**ver anexo II**), solamente entregan mejores datos (por ejemplo, ordenados, revisados, con su metadata actualizada, etc.), pero fallan en producir bases de datos e información climática más útil, utilizable y finalmente usada por tomadores de decisiones. Las razones de esta debilidad estarían en (i) poner énfasis en productos más que en procesos, (ii) entregar servicios climáticos basados en supuestos generales sobre la demanda, en lugar de ser impulsados por la demanda y (iii) una limitada valoración económica de los “productos climáticos” entregados, cuando lo que se debería evaluar son las mejoras en la toma de decisiones (Findlater et al., 2021). El gran desafío actual es que las transformaciones que son necesarias de implementar en Chile (Billi et al., 2021), no solo requieren de datos útiles, utilizables y accesibles a los tomadores de decisiones, sino que también deben considerar los servicios ecosistémicos que nos provee la naturaleza y el bienestar humano.

11. Es importante contar con una **red de monitoreo del ciclo del carbono** compuestas por Eddy Flux Towers a lo largo de los distintos ecosistemas terrestres de Chile (Lara et al. 2019, Marquet et al., 2019). Las instaladas en Chiloé (estación Senda Darwin, véase Pérez-Quezada et al., 2018), en el Parque Nacional Alerce Costero y la que se está construyendo en el Parque Omora son insuficiente y sería recomendable incrementar los esfuerzos ya invertidos en el registro de largo plazo de variables socio-ambientales en el país a través de la Red Chilena de Estudios Socio-ecológicos de Largo Plazo (LTSER, <https://ltsr-chile.cl/>) que posee nueve sitios entre Iquique y Omora y del Sistema de Información y Monitoreo de Biodiversidad (SIMBIO, <https://simbio.mma.gob.cl>) del MMA. Por ello se sugiere reducir las brechas de información, mejorando la adquisición de datos en terreno (Fluxnet Towers), lo cual es crítico pues recientes reportes sugieren que, debido al calentamiento global, el potencial de captura de carbono por la vegetación terrestre, sin un programa ambicioso de mitigación, se reducirá a la mitad para el 2040, alcanzando un punto de inflexión (ver glosario), donde la fotosíntesis igualará a la respiración total de ecosistema (Duffy et al., 2021)
12. Definir **estrategias de muestreo de información satelital** (Sistema Nacional Satelital) en diseños de muestreo de satélites chilenos en órbitas relacionadas con los principales recursos y realidades nacionales. Por ejemplo, el sistema de criósfera en nuestro país está distribuido a lo largo de un corredor meridional (68-74°O), siguiendo la línea latitudinal (18-55°S) del Sistema de Cordillera de Los Andes (**Figura 5**). No obstante, la prolongación hacia el continente antártico, cuyos límites territoriales cubren un mayor rango de longitudes (53°-90° O), requiere seguir un transecto oblicuo hasta el Glaciar Unión (79°45´S; 82°30´O). Este corredor también incluye al Mar Territorial Chileno (12 millas náuticas desde la línea de costa) para incluir información de sistemas de surgencia y productividad costera.

Figura 5

**Possible corredor de paso a satélites para incluir el sistema de criósfera Cordillera de Los Andes, Península Antártica y Mar Territorial Chileno.**

Fuente: elaboración propia



13. Definir estrategias latitudinales de muestreo en sistemas del océano, atmósfera, criósfera y litósfera. Actualmente existe un sistema de alerta de maremotos (SNAM; <https://www.snamchile.cl/>) a cargo del SHOA que mantiene boyas oceánicas en la parte centro-norte de Chile (figura 5A). Además, existe una variedad de sistemas de anclajes costeros con sensores oceanográficos y atmosféricos, muchos de los

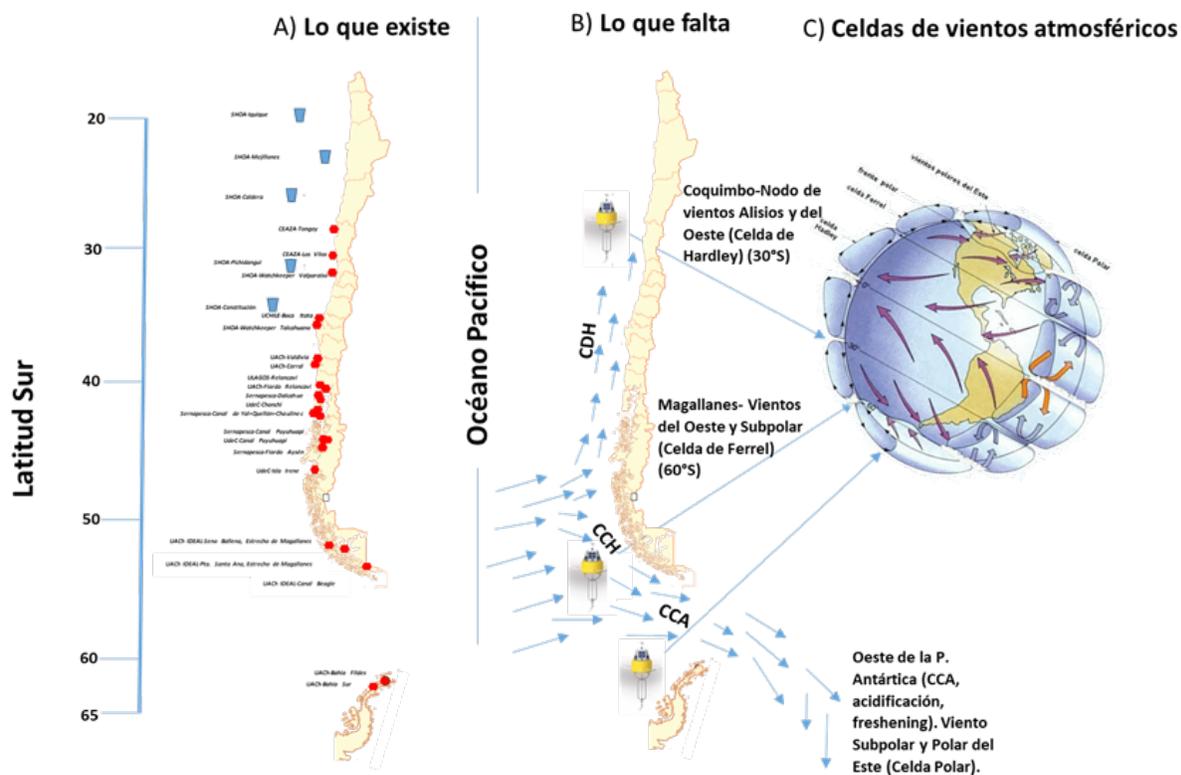
cuales han contribuido con series de tiempo variables (desde anuales a decadales), que dependen de programas de financiamientos reducidos y acotados a períodos relativamente cortos. Centros científicos ANID (ej. CR2, IDEAL, etc.) tienen financiamiento de máximo 10 años, mientras que centros regionales (ej. CEAZA, CIEP, etc.) tienen financiamiento más prolongado (**figura 6A**). Lo anterior dificulta la mantención de series de tiempo que posean la continuidad, duración y estabilidad instrumental como para contribuir a monitorear los cambios de largo plazo de las condiciones oceanográficas a lo largo de la costa nacional. Es importante enfatizar que la detección de tendencias debidas al cambio climático requiere mediciones prolongadas (varias décadas) y con una calibración permanente (de manera de detectar tendencias espurias debido a la deriva instrumental). En consecuencia, se recomienda la mantención de (al menos) tres sistemas de series de tiempo con boyas oceánicas, equipadas con sensores oceanográficos en varias profundidades, desde la superficie del océano hasta zonas profundas (sensores: salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, nutrientes, pigmentos fotosintéticos, turbidez, pH-estado de óxido-reducción, pCO<sub>2</sub>, penetración de luz, flujo de material particulado en trampas de sedimento). Mientras que, sobre la superficie del agua, sensores atmosféricos (temperatura, humedad y pCO<sub>2</sub> del aire, radiación incidente, velocidad y dirección de vientos) registrarán en forma continua, enviando la información a los respectivos repositorios de datos vía satelital (**figura 6B**). Cabe destacar que, aunque el objetivo inicial de esta red oceanográfica/meteorológica es la detección de tendencias de largo plazo asociadas al cambio climático, sus datos servirán además para detectar fenómenos de alta frecuencia (desde tormentas que ocurren a nivel diario hasta cambios interanuales producto de ENSO), cumpliendo así un rol de monitoreo en tiempo real que puede ser muy útil y con aplicaciones inmediatas.

Figura 6

**Propuesta para un sistema centinela de cambio climático.**

- A) Distribución de anclajes oceánicos del SHOA como parte del SNAM (conos truncados azul) en la zona centro-norte de Chile y distribución de anclajes costeros (hexágonos rojos) a lo largo de la costa de Chile y Antártica.
- B) Ubicación geográfica de boyas oceánicas con instrumentos oceanográficos y meteorológicos en latitudes asociadas a las principales celdas de circulación del viento atmosférico y distribución de principales masas de agua de altas latitudes (Corriente de Humboldt-CDH, Corriente del Cabo de Hornos-CCH, Corriente Circumpolar Antártica-CCA).
- C) Celdas de circulación atmosféricas.

Fuente: A, B: modificado de Farías et al., 2019b. C: tomado de [http://www.tayabeixo.org/sist\\_solar/tierra/mov\\_atmosfera.htm](http://www.tayabeixo.org/sist_solar/tierra/mov_atmosfera.htm)



14. En cuanto a redes de monitoreo climático en tierra firme, nuestro país cuenta con un robusto sistema de información provisto por la Dirección Meteorológica de Chile y complementada por la red hidro-meteorológica de la Dirección General de Aguas. Entre ambas, se contabilizan actualmente más de 700 estaciones con datos de temperatura del aire y precipitación (entre otras variables atmosféricas). A esto se suman redes más específicas como AgroMet (iniciativa público-privada impulsada Ministerio de Agricultura) y redes de universidades y centros de investigación

(como CEAZA-Met). Sin embargo, al igual que en el caso del océano, la detección de las pequeñas tendencias climáticas de largo plazo (relativa a la variabilidad interanual) requiere de mediciones sostenidas y consistentes en el tiempo (décadas). La cantidad de estaciones que cumplen este criterio no supera las 20 (mayormente las estaciones climáticas de la DMC) que han operado desde los años 60 (aunque algunas de ellas tienen una data más larga, como Quinta Normal operando desde 1866). Se debe apoyar el esfuerzo de la DMC en la mantención de estas estaciones climáticas, las cuales dan cuenta de variaciones de largo plazo en buena parte de Chile. Sin embargo, la red climática de la DMC continúa siendo insuficiente para la detección de señales del cambio climático. Un vacío importante es la ausencia de estaciones en altura (sobre los 2500 msnm). Esta falencia debería ser subsanada mediante la instalación de un conjunto de 5-10 estaciones “centinela” a lo largo de la Cordillera de Los Andes, con mediciones de alta calidad y sostenidas en el tiempo de temperatura del aire, precipitación (un problema en sí debido a la dificultad de medir nieve), radiación solar y viento. Las estaciones Andinas deberían estar más o menos en la misma latitud de las estaciones climáticas de la DMC de manera de poder contar con transectos climáticos costa-cordillera en la zona norte, centro y sur de Chile. En esta última zona (sur de Los Lagos, Aysén y Magallanes) la densidad de estaciones meteorológicas es muy baja y debe considerarse no solo sitios andinos sino también la parte más expuesta de la costa Pacífica.

15. **Dónde, Cómo y Cuándo realizar los esfuerzos de adquisición de datos en función del cambio climático.** La mantención de boyas oceanográficas y sistemas de monitoreo de variables climáticas son muy costosos, por lo que se recomienda un esfuerzo focalizado en áreas claves para obtener las señales oceánico-climáticas estacionales, interanuales e interdecadales. En una distancia Ecuador-Antártica a lo largo de un transecto latitudinal desde los 20 a 65°S (5000 kms), tres sistemas asociados a regímenes de vientos y circulación oceánica global podrían constituir un sistema “centinela del cambio climático” a nivel global. Los criterios de selección geográfica de series de tiempo deberían seguir un patrón global de celdas de circulación de viento atmosférico (Cinturones globales de vientos (i) Alisios-Del Oeste, (ii) Del Oeste-Subpolar y (iii) Subpolar-Polar del Este) (**Figura 6C**) y patrón global de circulación de masas de agua. Además del patrón de masas de agua en la zona del Pacífico-Sur-Oriental y la Antártica (CDH, CCH, CCA) (**Figura 6B**).

## Referencias

- Aburto F., E. Cartes, O. Mardones & R. Rubilar (2020). Hillslope soil erosion and mobility in pine plantations and native deciduous forest in the coastal range of south-Central Chile. *Land Degrad Dev.* 32: 453–466. <https://doi.org/10.1002/ldr.3700>.
- Aguayo R., J. León-Muñoz, R. Garreaud & A. Montecinos (2019) Hydrological droughts in the southern Andes (40–45°S) from an ensemble experiment using CMIP6 models. *Sci. Rep.* 11:5530. [doi.org/10.1038/s41598-021-84807-4](https://doi.org/10.1038/s41598-021-84807-4).
- Aguayo, R., Vargas-Baechler, J., Montecinos, A., Garreaud, R., Urbina, M., Soto, D., Iriarte, J.L. (2019). The glass half-empty: Climate Change drives lower freshwater input in the coastal system of the Chilean northern Patagonia. *Clim. Change.* (<https://doi.org/10.1007/s10584-019-02495-6>)
- Albert J. S., G. Destouni, S. M. Duke-Sylvester, A. E. Magurran, T. Oberdorff, R. E. Reis, K. O. Winemiller & W. J. Ripple (2021). Scientists' warning to humanity on the freshwater biodiversity crisis. *Ambio* 50: 85–94. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01318-8>.
- Alvarez-Garretón C., A. Lara, J. P. Boisier & M. Galleguillos (2019). The impacts of native forests and forest plantations on water supply in Chile. *Forests*, 10(6), 473.
- Alvarez-Garretón C., P. Mendoza, J. P. Boisier, N. Addor, M. Galleguillos, M. Zambrano, A. Lara, C. Puelma, G. Cortes, R. Garreaud, J. McPhee & A. Ayala (2018). The CAMELS-CL dataset: catchment attributes and meteorology for large sample studies – Chile dataset. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22: 5817–5846. <https://doi.org/10.5194/hess-22-5817-2018>
- Barnes, DKA, C. J. Sands, A. Cook, F. Howard, A. Roman, C. Muñoz, K. Retallick, J. Scourse, K. Van Landeghem & N. Zwierschke (2020). Blue carbon gains from glacial retreat along Antarctic fjords: What should we expect? *Glob. Change Biol.* 26: 2750–2755. <https://doi.org/10.1111/gcb.15055>
- Billi, M., P. Moraga, E. Aliste, A. Maillet, R. O’Ryan, R. Sapiains, R. Bórquez, P. Aldunce, G. Azócar, G. Blanco, N. Carrasco, M. Galleguillos, D. Hervé, C. Ibarra, L. Gallardo, V. Inostroza, F. Lambert, D. Manuschevic, F. Martínez, M. Osses, N. Rivas, M. Rojas, R. Seguel, S. Tolvet & A. Ugarte (2021). Gobernanza Climática de los Elementos. Hacia una gobernanza climática del Agua, el Aire, el Fuego y la Tierra en Chile, integrada, anticipatoria, socio-ecosistémica y fundada en evidencia. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, (ANID/FONDAP/15110009), 69 pp.
- Biskupovic C., M. Sepúlveda & R. Carmona (2020). Ley marco de Cambio Climático y pueblos indígenas en Chile. Elementos para su incorporación. CIIR, Unidad de Políticas Públicas, Serie Policy Papers 7. <http://www.ciir.cl/ciir.cl/wp-content/uploads/2020/03/policy-paper-UPP-n%C2%BA-7-2020.pdf>
- Borrelli P., D. Robinson, P. Panagos, E. Lugato, J. Yang, C. Alewell, D. Wuepper, L. Montanarella & C. Ballabio (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015–2070). *Proc. Nat. Acad. Sci.* 117 (36): 21994–22001. [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.2001403117](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.2001403117)
- Broschek U. (2019) Escenarios Hídricos 2030. Fundación Chile. En La Tercera “El 44% de la escasez hídrica en Chile es por mal manejo del agua”. <https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/brecha-y-riesgos-hidricos-el-futuro-del-agua-en-chile/692300/>
- Buckingham et al. (2019) The road to restoration. A guide to identifying priorities and indicators for monitoring forest and landscapes restoration. <https://files.wri.org/s3fs-public/road-to-restoration.pdf>.
- Carpenter S. R., E. H. Stanley & M. J. Vander Zanden (2011). State of the World’s Freshwater Ecosystems: Physical, Chemical, and Biological Changes. *Annual Review of Environment and Resources*, 36, 75–99. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-021810-094524>

## Referencias

- Claudet J., L. Bopp, W. Cheung, R. Devillers, E. Escobar-Briones, P. Haugan, J. Haymans, V. Masson-Delmotte, N. Matz-Lück, P. Miloslavich, L. Mullineaux, M. Visbeck, R. Watson, A. Zivian, I. Anson, M. Araujo, S. Arico, D. Bailly, J. Barbieri, C. Barnerias, C. Bowler, V. Brun, A. Cazenave, C. Diver, et al. (2020) A roadmap for using the UN decade of ocean science for sustainable development in support of science, policy, and action. *One Earth* 2: 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.012>.
- COI-UNESCO (2020). Informe Mundial sobre las Ciencias Oceánicas 2020 – Cartografía de las capacidades para la sostenibilidad del océano, Resumen ejecutivo. K. Isensee (ed.), París, Ediciones UNESCO. (Colección sobre políticas de la COI, 2020-1). [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375148\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375148_spa).
- Cole, J. J., Y. T. Prairie, N. F. Caraco, W. McDowell, L. Travik, R. Striegl, C. Duarte, P. Kortelainen, J. Downing, J. Middelburg & J. Melack (2007). Plumbing the Global Carbon Cycle: Integrating Inland waters into the terrestrial Carbon Budget. *Ecosystems*, 10(1): 171-184. doi: 10.1007/s10021-006-9013-8.
- CONAMA (2006) Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica. CONAMA contrato 31-22-00/05, 114 pp.
- Cotrufo M. F., M. G. Ranalli, M. Haddix, J. Six & E. Lugato (2019). Soil carbon storage informed by particulate and mineral-associated organic matter. *Nature Geosci.* 12: 989-994. [doi.org/10.1038/s41561-019-0484-6](https://doi.org/10.1038/s41561-019-0484-6).
- Crespo S., C. Lavergne, F. Fernandez, A. Muñoz, L. Cara & S. Olfos-Vargas (2020) Where does the Chilean Aconcagua River come from? Use of natural tracers for water genesis characterization in glacial and periglacial environments. *Water*, 12: 2630. doi:10.3390/w12092630.
- Curra-Sánchez E., C. Lara, M. Cornejo-D'Otton, J. Nimptsch, M. Aguayo, B. Brotman G. Saldías & C. Vargas (2022) Contrasting land-uses in two small river basins impact the colored dissolved organic matter concentration and carbonate system along a river-coastal ocean continuum. *Science of Total Environment* 806: 1-15. [doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150435](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150435)
- Dasgupta P. (2021) The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review (London, UK: HM Treasury. [www.gov.uk/official-documents](http://www.gov.uk/official-documents).
- Díaz, P. A., Álvarez, A., Varela, D., Pérez-Santos, I., Díaz, M., Molinet, M. Seguel, A. Aguilera, L. Guzmán, E. Uribe, J. Rengel, C. Hernández, C. Segura & R. Figueroa (2019). Impacts of harmful algal blooms on the aquaculture industry: Chile as a case study. *Perspect. Phycol.* doi: 10.1127/pip/2019/0081
- DGA (2016). Atlas del Agua. Dirección General de Agua, Ministerio de Obras Públicas. <https://dga.mop.gob.cl/DGADocumentos/Atlas2016parte1-17marzo2016b.pdf>
- Duffy K., A., C. Schwalm, V. Arcus, G. Koch, L. Liang & L. Schipper (2021). How close are we to the temperature tipping point of the terrestrial biosphere? *Sci. Adv.* 7: eaay1052.
- Dussailant I., E. Berthier, F. Brum, M. Masiokas, R. Hugonnet, V. Favier, A. Rabatel, P. Pitte & L. Ruiz (2019). Two decades of glacier mass loss along the Andes. *Nat. Geosci.* <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0432-5>.
- Dynarski K. A., D. A. Bossio & K. M. Scow (2020) Dynamic stability of soil carbon: Reassessing the “permanence” of soil carbon sequestration. *Front. Environ. Sci.* 8. [doi.org/10.3389/fenvs.2020.514701](https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.514701).
- Emberson R., D. Kirschbaum & T. Stanley (2021). Global connections between El Niño and landslide impacts. *Nat. Comm.* 12: [doi.org/10.1038/s41467-021-22398-4](https://doi.org/10.1038/s41467-021-22398-4).
- Farías, L., K. Ubilla, C. Aguirre, L. Bedriñana, R. Cienfuegos, V. Delgado, C. Fernández, M. Fernández, A. Gaxiola, H. González, R. Hucke-Gaete, P. Marquet, V. Montecino, C. Morales, D. Narváez, M. Osses, B. Peceño, E. Quiroga, L. Ramajo, H. Sepúlveda, D. Soto, J. Valencia, E. Vargas & F. Viddi. (2019a). Nueve medidas basadas en el océano para las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional de Chile. Informe de la mesa Océanos. Santiago: Comité científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. <https://www.minciencia.gob.cl/comitecientifico/documentos/mesa-oceanos/16.Oceanos-Nueve-soluciones-para-las-NDC.pdf>

## Referencias

- Farías, L., C. Fernández, R. Garreaud, L. Guzmán, S. Hormazábal, C. Morales, D. Narváez, S. Pantoja, I. Pérez, D. Soto & P. Winckler (2019b). Propuesta de un Sistema Integrado de Observación del Océano Chileno (SIOOC). Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. <https://www.minciencia.gob.cl/comitecientifico/documentos/mesa-oceanos/18.Oceanos-SIOOC.pdf>
- Findlater, K., Webber, S., Kandlikar, M. & S. Donner (2021). Climate services promise better decisions but mainly focus on better data. *Nat. Clim. Chang.* 11, 731–737. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01125-3>
- González H.G., G. Daneri, J. L. Iriarte, B. Yanicelli, E. Menschel, C. Barría, S. Pantoja, L. Lizárraga (2009). Carbon fluxes within the epipelagic zone of the Humboldt Current System off Chile: The significance of euphausiids and diatoms as key functional groups for the biological pump. *Prog. Oceanog.* 83: 217-227.
- González H. E., J. Nimptsh, R. Giesecke, & N. Silva (2019). Organic matter distribution, composition and its possible fate in the Chilean North-Patagonian estuarine system. *Science of the Total Environment* 657: 1419-1431. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.445>.
- González H. E., M. Graeve, G. Kattner, N. Silva, L. Castro, J.L. Iriarte, L. Osmán, G. Daneri & C. Vargas (2016). Carbon flow through the pelagic food web in southern Chilean Patagonia: relevance of *Euphausia vallentini* as key species. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 557: 91-110. doi: 10.3354/meps11826.
- Guidi, L., Fernandez Guerra, A., Canchaya, C., Curry, E., Fogliani, F., Irisson, J.-O., Malde, K., Marshall, C. T., Obst, M., Ribeiro, R. P., Tjiputra, J., Bakker, D. C. E. (2020). Big Data in Marine Science. Alexander, B., Heymans, J. J., Muñiz Piniella, A., Kellett, P., Coopman, J. [Eds.] *Future Science Brief 6 of the European Marine Board*, Ostend, Belgium. ISSN: 2593-5232. ISBN: 9789492043931. DOI: 10.5281/zenodo.3755793
- Hallegatte Stephane, Jun Rentschler, Julie Rozenberg. 2020. *Adaptation Principles—A Guide for Designing Strategies for Climate Change Adaptation and Resilience*. Washington, DC: World Bank.
- Häussermann, V., C. S. Gutstein, M. Bedington, D. Cassis, C. Olavarria, A. C. Dale, A. Valenzuela, M. Pérez. H. Sepúlveda, K. McConnell, F. Horwitz & G. Försterra (2017). Largest baleen whale mass mortality during strong El Niño event is likely related to harmful toxic algal bloom. *PeerJ*, 5: e3123. [doi.org/10.7717/peerj.3123](http://doi.org/10.7717/peerj.3123).
- Hernández Y., G. Neumann & P. Barbosa (2020) Measuring the effectiveness of the Covenant of Mayors on the reporting of climate hazards by Municipalities. *Heliyon* 6 e05043.
- Hinojosa L. F., M. F. Pérez, D. Rougier, C. Villagrán, J. J. Armesto (2015). Legados históricos de la vegetación de bosque en Chile. En: *Ciencias Ecológicas 1983-2013. Treinta años de investigaciones chilenas*. Vivian Montecinos & Julieta Orlando (Eds). Editorial Universitaria. Santiago, Chile. Páginas:123-138.
- Hofsted R. W., S. Kuzma, S. Walker, E. Sultanudjaja, M. Bierkens, M. Kuijper, M. Sanchez, R. van Beek, Y. Wada, S. Rodríguez & P. Reig (2019) *Aqueduct 3.0: Updated decision-relevant global water risk indicators*. World Resources Institute. Tech. note. [https://files.wri.org/s3fs-public/aqueduct-30-updated-decision-relevant-global-water-risk-indicators\\_1.pdf](https://files.wri.org/s3fs-public/aqueduct-30-updated-decision-relevant-global-water-risk-indicators_1.pdf)
- Iriarte, J. L., H. E. González, K. K. Liu, C. Rivas & C. Valenzuela (2007). Spatial and temporal variability of chlorophyll and primary productivity in surface waters of southern Chile (41.5 – 43°S). *Est. Coast Shelf Sci.* 74: 471-480.
- IOOS (Integrated Ocean Observing System 2014). Manual for the Use of Real-Time Oceanographic Data Quality Control Flags, version 1.0. [https://repository.oceanbestpractices.org/bitstream/handle/11329/268/qartod\\_oceanographic\\_data\\_quality\\_manual.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.oceanbestpractices.org/bitstream/handle/11329/268/qartod_oceanographic_data_quality_manual.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## Referencias

- IUCN (2008). Protected Areas, <https://www.iucn.org/theme/protected-areas/about>.
- Jones, J., A. Almeida, F. Cisneros, A. Iroumé, E. Jobbágy, A. Lara, W. de Paula, C. Little, C. Llerena, L. Silveira & J. C. Villegas (2017). Forests and water in South America. *Hydrol. Process.*, 31(5), 972-980. [doi.org/10.1002/hyp.11035](https://doi.org/10.1002/hyp.11035).
- Krause-Jense D., C. M Duarte (2016). Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. *Nature Geosci.* DOI:10.1038/NGEO2790
- Kühl H. S., D. E. Bowler, L. Bösch, H. Bruehlheide, J. Dauber, D. Eichenberg, N. Eisenhauer, N. Fernández, C. A. Guerra, K. Henle, I. Herbinger, N. Isaac, F. Jansen, B. König-Ries, I. Kúhn, E. Nilsen, G. Peér, A. Richter, R. Schulte, J. Settele, N. van Dam, M. Voigt, W. Wägele, C. Wirth & A. Bonn (2020) Effective biodiversity monitoring needs a culture of integration. *One Earth*, 3: 462-473. [doi.org/10.1016/j.oneear.2020.09.010](https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.09.010)
- Ladley J. (2020). Data Governance. How to design, deploy, and sustain an effective data governance program. 2nd Ed. Academic Press, London, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815831-9.00001-1>
- Lara, A. Altamirano, A. Alaniz, C. Álvarez, M. Castillo, M. Galleguillos, A. Grez, Á. Gutiérrez, J. Hoyos Santillán, D. Manuschevich, R. M. Garay, A. Miranda, E. Ostría, F. Peña Cortéz, J. Pérez Quezada, A. Sepúlveda, J. Simonetti & C. Smith (2019). «Cambio de uso del suelo en Chile: Oportunidades de mitigación ante la emergencia climática». En P. A. Marquet et al. (editores), *Biodiversidad y cambio climático en Chile: Evidencia científica para la toma de decisiones*. Informe de la mesa de Biodiversidad. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.
- Leon-Muñoz, J., Urbina, M., Garreaud, R., & Iriarte, J.L., (2018). Hydroclimatic conditions trigger record harmful algal bloom in western Patagonia (summer 2016). *Sci. Rep.* doi: 10.1038/s41598-018-19461-4.
- Levain A., C. Barthélémy, M. Bourblanc, J.-M. Douguet, A. Euzen & Y. Souchon (2020) Green out of the blue, or how (not) to deal with overfished oceans. *Environm. Soc. Adv Res.* 11: 115-142. doi:10.3167/ares.2020.110108.
- Leveil, D. P., & B. Orlove (1990). Local Control of Aquatic Resources: Community and Ecology in Lake Titicaca, Peru. *American Anthropologist* 92 (2): 362-382.
- Loisel J., A. Gallego, M. Amesbury, G. Magnan, G. Anshari, D. Beilman, J. Benavides, J. Blewett, P. Camill, D. Charman, S. Chawchai, A. Hedgpeth, T. Kleinen, A. Korhola, D. Large, C. Mansilla, J. Müller, S. van Bellen, J. West, Z. Yu, J. Bubier, M. Garneau, T. Moore, A. Sannel, S. Page, M. Väiranta, M. Bechtold, V. Brovkin, L. Cole, J. Chanton, T. Christensen, M. Davies, F. De Vleeschouwer, S. Finkelstein, S. Frolking, M. Galka, L. Gandois, N. Girkin, L. Harris, A. Heinemeyer, A. Hoyt, M. Jones, F. Joos, S. Juutinen, K. Kaiser, T. Lacourse, M. Lamentowicz, T. Larmola, J. Leifeld, A. Lahila, A. Milner, K. Minkinen, P. Moss, B. Naafs, J. Nichols, J. O'donnell, R. Payne, M. Philben, S. Piilo, A. Quillet, A. Ratnayake, T. Roland, S. Sjögersten, O. Sonntag, G. Swindles, W. Swinnen, J. Talbot, C. Treat, A. Valach & J. Wu. (2021) Expert assesment of future vulnerability of the global peatland carbon sink. *Nature Clim Change* 11: 70-77. [doi.org/10.1038/s41558-020-00944-0](https://doi.org/10.1038/s41558-020-00944-0)
- Marquet P. A., Altamirano, A., Arroyo, M. T. K., Fernández, M., Gelcich, S., Górski, K., Habit, E., Lara, A., Maass, A., Pauchard, A., Plischoff, P., Samaniego, H., Smith-Ramirez, C. (2019). *Biodiversidad y cambio climático en Chile: Evidencia científica para la toma de decisiones*. Informe de la mesa de Biodiversidad. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

# Referencias

- Martínez-Retureta, R., M. Aguayo, A. Stehr, S. Sauvage, C. Echeverría, & J. M. Sánchez-Pérez (2020). Effect of land use/cover change on the hydrological response of a southern center basin of Chile. *Water* (Switzerland), 12(1): 1-21. [doi.org/10.3390/w12010302](https://doi.org/10.3390/w12010302).
- Matus F. (2021). Fine silt and clay content is the main factor defining maximum C and N accumulations in soils: a meta-analysis. *Nature-Sci. Rep.* <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84821-6>
- Menschel E. & H. E. González (2019) Carbon and Calcium Carbonate Export Driven by Appendicularian Faecal Pellets in the Humboldt Current System off Chile. *Sci. Rep.*, 9:16501. DOI: 10.1038/s41598-019-52469-y.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (2021), Informe de Recomendaciones. Mesa Técnica "Investigación e Información Pública. 133 pg.
- Morueta-Holme N., M. F. Oldfather, R. Ollif-Yang, A. Weitz, C. Levine, M. Kling, E. Riordan, C. Merow, S. Sheth, A. Thronhill & D. Ackerly (2018). Best practices for reporting climate data in ecology. *Nat. Clim. Change*, 8:92-94. <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0060-2>.
- Murray N. J., E. V. Kennedy, J. Alvarez-Romero & M. B. Lyons (2021) Data freshness in ecology and conservation. *Trends Ecol. Evol* (in press). [doi.org/10.1016/j.tree.2021.03.005](https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.03.005).
- Nature editorial (2021). Momentum on valuing ecosystems is unstoppable. [doi.org/10.1038/d41586-021-00616-9](https://doi.org/10.1038/d41586-021-00616-9)
- Nature Geoscience Editorial (2021). Valuing wetlands. *Nature Geosci.* 14:111. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00713-4>.
- Nitah (2021). Indigenous peoples proven to sustain biodiversity and address climate change: Now it's time to recognize and support this leadership. *OneEarth* 4: 907-909. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.06.015>.
- Padarian J., B. Minasny & A. B. McBratney (2017). Chile and the Chilean soil grid: A contribution to GlobalSoil-Map. *Geoderma Reg.* 9: 17-28. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2016.12.001>.
- Paul F. (2020) "Megasequía en Chile: las catastróficas consecuencias de la mayor crisis del agua de los últimos 50 años. *BBC News*, <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-49825857>
- Pérez Quezada J. F., J. L. Celis Diez, C. E. Brito, A. Gaxiola, M. Nuñez Avila, F. I. Pugnaire, & J. J. Armesto (2018). Carbon fluxes from a temperate rainforest site in southern South America reveal a very sensitive sink. *Ecosphere*, 9(4), e02193.
- Pfeiffer M., J. Padarian, R. Osorio, N. Bustamente, G. Olmedo, M. Guevara, F. Aburto, M. Antilen, E. Araya, E. Arellano, M. Barret, J. Barrera, P. Boeckx, M. Briceño, S. Bunning, L. Cabrol, M. Casanova, P. Cornejo, F. Corradini, G. Curaqueo, S. Doetterl, P. Durán, M. Escudey, A. Espinoza, S. Francke, J. Fuentes, M. Fuentes, G. Gajardo, R. García, A. Gallaud, M. Galleguillos, A. Gomez, M. Hidalgo, L. Ivelic, L. Mas-halaba, F. Matus, M. Mora, J. Mora, C. Muñoz, P. Norambuena, C. Olivera, C. Ovalle, M. Panichini, P. Aníbal, J. Perez, S. Radic, J. Ramirez, N. Riveras, G. Ruiz, O. Salazar, I. Salgado, O. Seguel, M. Sepúlveda, C. Sierra, Y. Tapia, B. Toledo, J. Torrico, S. Valle, R. Vargas, M. Wolff & E. Zagal (2019). CHLSOC: The Chilean Soil Organic Carbon database, a multi-institutional collaborative effort. *Earth Syst. Sci. Data.* [doi.org/10.5194/essd-2019-161](https://doi.org/10.5194/essd-2019-161).
- Plan Oceanográfico Nacional 2021-2030. Decenio de las Naciones Unidas de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible. Comité Oceanográfico Nacional (2020). Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA). 57 pp. [http://www.cona.cl/pub/plan\\_oceanac.pdf](http://www.cona.cl/pub/plan_oceanac.pdf).
- Radiografía del Agua. Brecha y riesgo hídrico en Chile (2019). Fundación Chile. 144 pp. <https://old.escenarioshidricos.cl/wp-content/uploads/2019/07/radiografia-del-agua-1.pdf>
- Ratnarajah L., A. R. Bowie, D. Lannuzel, K. M. Meiners & S. Nicol (2014). The Biogeochemical Role of Baleen Whales and Krill in Southern Ocean Nutrient Cycling. *PLoS ONE* 9(12): e114067. doi:10.1371/journal.pone.0114067.

## Referencias

- Raymond, P. A., J. Hartmann, R. Lauerwald et al. (2013). Global Carbon Dioxide Emissions from Inland Waters. *Nature*, 503(7476): 355-359.
- Reche P., O. Artal, E. Pinilla, C. Ruiz, O. Venegas, A. Arriagada & M. Falvey (2021) CHONOS: Oceanographic information website for Chilean Patagonia. *Ocean Coast Managem.* 208 (en prensa). [doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105634](https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105634).
- Reichstein et al (2013). Climate extremes and the carbon cycle. *Nature*, 500: 287-295. doi:10.1038/nature12350.
- Rivera H., E. Domínguez, R. Marín & R. Venegas (2004) Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial. Elaborado por IDEAM para el proyecto Sistema de Información del Medio Ambiente (SIMA), Lima, Perú. [https://documentación. ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021143/metodología-calculo.pdf](https://documentación.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021143/metodología-calculo.pdf)
- Rodell M., J. S. Famiglietti, D. N. Wiese, J. T. Reager, H. K. Beaudoin, F. W. Landerer & M.-H. Lo (2018). Emerging trends in global freshwater availability. *Nature* 557(7707): 651-659. doi: 10.1038/s41586-018-0123-1
- Saldías G. S., J. L. Largier, R. Mendes, I. Pérez-Santos, C. Vargas & M. Sobarzo (2016). Satellite-measured interannual variability of turbid river plumes off central-southern Chile: Spatial patterns and the influence of climate variability.
- Salimi S., M. Berggren & M. Scholz (2021) Response of the peatland carbon dioxide sink function to future climate change scenarios and water level management. *Glob. Change Biol.* 1-15. doi: 10.1111/gcb.15753.
- Schaffer, N., S. MacDonell, M. Réveillet, E. Yáñez & R. Valois (2019). Rock glaciers as a water resource in the semiarid Chilean Andes in a changing climate. *Reg. Environm. Change.* doi: 10.1007/s10113-018-01459-3.
- Schaefer M., D. Fonseca-Gallardo, D. Fariñas-Barahona & G. Casassa (2020) Surface energy fluxes on Chilean glaciers: measurements and models. *Cryosphere* 14: 2545-2565.
- Sebestyén V., T. Czvetkó & J. Abonyi (2021). The applicability of Big Data in Climate Change Research: The Importance of System of Systems Thinking. *Front. Environ. Sci.* 9:619092. doi: 10.3389/fenvs.2021.619092
- Smith, R. W., T. S. Bianchi, M. Allison, C. Savage & V. Galy (2015). High Rates of Organic Carbon Burial in Fjord Sediments Globally. *Nat. Geosci.*, 8(6): 450-453.
- Stehr A., C. Álvarez, P. Álvarez, J. L. Arumí, C. Baeza, R. Barra, C. A. Berroeta, Y. Castillo, G. Chiang, D. Cotoras, S. A. Crespo, V. Delgado, G. Donoso, A. Dussailant, F. Ferrando, R. Figueroa, C. Frêne, R. Fuster, A. Godoy, T. Gómez, E. Holzapfel, C. Huneeus, M. Jara, C. Little, K. Lizama, M. Musalem, M. Olivares, O. Parra, R. D. Ponce, D. Rivera, I. Rodríguez, A. Sepúlveda, M. Somos, F. Ugalde, R. Urrutia, M. Valenzuela, C. Vargas, X. Vargas, S. Vásquez, I. L. Vera, S. Vicuña, G. Vidal, M. Yevenes (2019). Recursos hídricos en Chile: Impactos y adaptación al cambio climático. Comité Científico COP25, Chile. 64 pp. [https://cdn.digital.gob.cl/filer\\_public/e6/ffe6ff260a-d926-4210-83e6-ad7b840b-320c/19agua-recursos-hidricos-stehr.pdf](https://cdn.digital.gob.cl/filer_public/e6/ffe6ff260a-d926-4210-83e6-ad7b840b-320c/19agua-recursos-hidricos-stehr.pdf)
- Steven D. L., S. Aryal, P. Bernal, F. Bravo, R. H. Bustamante, S. Condie, J. M. Dambacher, S. Dowideit, E. A. Fulton, R. Gorton, M. Herzfeld, J. Hodge, E. Hoshino, E. Kenna, D. Ocampo, C. I. van Putten, F. Rizwi, J. Skerratt, A. Steven, L. Thomas, S. Tickell, P. Vaquero, D. Wild & K. Wild-Allen (2019). SIMA Austral: An operational information system for managing the Chilean aquaculture industry with international application, *J. Oper. Oceanogr.*, doi: 10.1080/1755876X.2019.1636606.
- Stockhouse, M., M. Juckes, R. Chen, W. M. Okia, A. Pirani, T. Waterfield, X. Xing & R. Edmunds (2019). Data Distribution Centre Support for the IPCC Sixth Assessment. *Data Sci. J.*, 18(1).
- Suggitt A. J. P. J. Platts, I. M. Barata et al. (2017) Conducting robust ecological analysis with climate data. *Oikos* 126: 1533-1541. doi: 10.1111/oik.04203.

# Referencias

- Terrer C., R. Phillips, B. Hungate, J. Rosende, J. Pett-Ridge, M. Craig, K. van Groenigen, T. Keenan, B. Sulman, B. Stocker, P. Reich, A. Pellegrini, E. Pendall, H. Zhang, R. Evans, Y. Carrillo, J. Fisher, K. Van Sundert, S. Vicca & R. Jackson (2021) A trade-off between plant and soil carbon storage under elevated CO<sub>2</sub>. *Nature* 591: 599-606. [doi.org/10.1038/s41586-021-03306-8](https://doi.org/10.1038/s41586-021-03306-8).
- Thiel M, E. Macaya, E. Acuña, W. Arntz, H. Bastias, K. Brokordt, P. Camus, J. C. Castilla, L. Castro, M. Cortés, C. Dumont, R. Escribano, M. Fernández, J. Gajardo, C. Gaymer, I. Gomez, A. González, H. E. González H. E. & 20 others. (2007). The Humboldt current system of northern-central Chile: oceanographic processes, ecological interactions and socio-economic feedback. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 45: 195-344.
- Torres R., S. Pantoja, N. Harada, H. E. González, G. Daneri, M. Frangopulos, J. A. Rutlant, C. M. Duarte, S. Ruiz-Halpern, E. Mayol & M. Fukasawa (2011). Air-sea fluxes along the coast of Chile: from CO<sub>2</sub> outgassing in central-northern upwelling waters to CO<sub>2</sub> uptake in southern Patagonia fjords. *J. Geophys. Res.-Oceans.* 116, Doi:10.1029/2010JC006344.
- Tranvik, L. J., J. A. Downing, J. B. Cotner et al. (2009). Lakes and Reservoirs as Regulators of Carbon Cycling and Climate. *Limnol. Oceanogr.* 54(6.2): 2.298-2.314.
- UNESCO/IOC. (2020). International data sharing workshop for non-UN IGOs, Global and Regional organizations and projects, NGOs and private sector, Online meeting, 12 October 2020. Paris, UNESCO, 39 pp. (IOC Workshop Report No. 290).
- Valois, R., S. MacDonell, J. Nuñez & H. Maureira (2020a). Groundwater level trends and recharge event characterization using historical observed data in semi-arid Chile. *Hydrol. Sci. J.* 65:4, 597-609, doi: 10.1080/02626667.2020.1711912.
- Valois, R.; N. Schaffer, R. Figueroa, A. Maldonado, E. Yáñez, A. Hevia, G. Yáñez Carrizo & S. MacDonell (2020b). Characterizing the Water Storage Capacity and Hydrological Role of Mountain Peatlands in the Arid Andes of North-Central Chile. *Water*, 12, 1071. doi: 10.3390/w12041071.
- Vergara-Jara, M., DeGrandpre, M., Torres, R., Beatty, C., Cuevas, A., Alarcón, E., Iriarte, J.L. (2019). Seasonal changes in carbonate saturation state and air-sea CO<sub>2</sub> fluxes during an annual cycle in a stratified-temperate fjord (Reloncaví Fjord, Chilean Patagonia). *JGR - Biogeosci.* <https://doi.org/10.1029/2019JG005028>.
- Villagrán C y Armesto JJ. 2005. Fitogeografía histórica de la cordillera de la costa de Chile. En: Smith-Ramírez C, Armesto JJ, Valdovinos C (eds.). Biodiversidad y Ecología de los Bosques de la Cordillera de la Costa, Chile. Editorial Universitaria.
- Villarini G. & C. Wasko (2021) Humans, climate and streamflow. *Nat. Clim. Chang.* 11: 725-726. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01137-z>
- WCS, Wildlife Conservation Society (2019). Chile, País de Humedales, 40 mil reservas de vida. 194 pp.
- Werdell P. J., M. J. Behrenfeld, P. S. Bontempi, E. Boss, B. Cairns, G. Davis, B. Franz, U. Gliese, E. Gorman, O. Hasekamp, K. Knobel-piesse, A. Mannino, J. Martins, C. McClain, G. Meister & L. Remer (2019). The Plankton, Aerosol, Cloud, ocean Ecosystem (PACE) mission: Status, science, advances. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 100: 1775-1794. doi:10.1175/BAMS-D-18-0056.1.
- Whitlock M. C. (2011) Data archiving in ecology and evolution: best practices. *Trends Ecol. Evol.* 26(2): 61-65.
- Wilkinson, M., Dumontier, M., Aalbersberg, I. et al. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Sci Data* 3, 160018 (2016). <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>.
- World Economic Forum (2020). The Global Risks Report 2020. Insight Report 15th Edition. 94 pp.
- Zemp M. (2019) Boost glacier monitoring. *Nature* 576:39

# Glosario

## **Albúferas**

Lagunas salobres, de zonas litorales, con conexión estacional con el mar.

---

## **Área Protegida:**

Espacio geográfico marino claramente delimitado, reconocido, dedicado y manejado, a través de medios legales y otros medios efectivos, con la finalidad de lograr una conservación de largo período de la naturaleza, servicios ecosistémicos asociados y valores culturales (modificado de IUCN, 2008).

---

## **Bofedales**

Humedales alimentados por fuentes subterráneas.

---

## **Desarrollo sostenible**

Desarrollo que satisface las necesidades del presente, sin comprometer las posibilidades de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades. Por ejemplo, al legar a su sucesor una base productiva, al menos, tan grande como la que había heredado de su predecesor (modificado de Dasgupta, 2021).

---

## **Fotosíntesis:**

Proceso foto-autotrófico de conversión de energía solar en ATP para la fijación de CO<sub>2</sub> para la subsecuente producción de materia orgánica.

---

## **Gobernanza de los datos y la información**

Organización e implementación de políticas, procedimientos, estructura, roles y responsabilidades que describen y hacen cumplir las reglas de uso, participación, derechos de decisión y responsabilidades para la gestión eficaz de los datos e información (Modificado de Ladley, 2020).

---

## **Hualves**

Bosques húmedos, con vegetación nativa, anegados de agua y con drenaje deficiente.

---

## **Humedales (sensu lato):**

Los humedales son ecosistemas acuáticos que sostienen la biodiversidad, nos proveen importantes elementos para la vida, los podemos encontrar a lo largo de toda la costa, como estuarios, lagunas costeras o marismas, a lo largo de la Cordillera de los Andes, como salares, lagunas salobres, bofedales, vegas, ríos, lagos y lagunas, hacia el sur de Chile es posible reconocer a los humedales de turberas, son grandes sumideros de gases de efecto invernadero, o los humedales boscosos, conocidos como hualves o pitrantes, todos ellos, en mayor o menor cantidad, suministran hábitat a peces, crustáceos, anfibios, reptiles, aves migratorias, entre otros. (Humedales de Chile, Ecosistemas Acuáticos y Costeros, Ministerio del Medio Ambiente, <https://humedaleschile.mma.gob.cl/ecosistemas/humedales/>).

---

## **Mallines**

Sistemas provista de una napa freática superficial y un sustrato geológico impermeable en el subsuelo.

---

## **Marismas**

Pantanos salobres con inundación periódica, ubicados en la zona intermareal, estuarios y mares interiores (ej. Chiloé).

---

# Glosario

## **Ngen ko, espíritus del agua**

Los Mapuches distinguen a varios Ngen-ko, espíritu dueño del agua. Se le asocia con lugares acuosos y húmedos acompañados de una abundante vegetación silvestre. Ellos residen en las aguas limpias en movimiento de vertientes, manantiales, ojos de agua, pozos, arroyos, canales, ríos, lagunas, lagos y mares. Allí crían peces. Cuando se dejó el agua en la tierra; en esa agua venía los ngen-ko como dueño de ellas. Ejerce el control de las aguas y lluvias, velando por su flujo continuo y su acción fertilizadora de la tierra, y cuidada por el ngen-ko, el agua tiene vida corriendo siempre sin detenerse. Ngen-ko habla y canta cuando el agua tiene mucho raudal. No obstante, ngen-ko requiere que sus aguas estén siempre acompañadas de vegetación silvestre. Si ésta es eliminada, el espíritu del agua se muda a otro lugar frondoso. <https://es.wikipedia.org/wiki/Ngen-ko>.

---

## **Ñadis**

Sistemas con suelos delgados, saturados o anegados durante el período invernal, poseen una capa de fierrillo impermeable entre el suelo orgánico y el sustrato de ripio.

---

## **Productividad Primaria**

Tasa a la cual se produce nueva biomasa por organismos autótrofos (por ejemplo, plancton autotrófico o fitoplancton o plantas terrestres).

---

## **Punto de inflexión (Tipping point)**

Denota el umbral de temperatura en el cual la superficie global de la tierra cambiará de ser un sumidero a una fuente de carbono. Si consideramos sólo la temperatura, sería cuando la fotosíntesis está en declinación exponencial mientras que la respiración está en incremento exponencial (Duffy et al., 2021).

---

## **Servicios ecosistémicos**

La contribución que hacen los ecosistemas al bienestar humano. Pueden ser de provisión, regulación o mantenimiento de servicios, además de servicios culturales (modificado de Dasgupta, 2021).

---

## **Turbera**

Humedal ácido en el cual se ha acumulado materia orgánica en forma de turba. Son cuencas lacustres generalmente de origen glaciario que pueden estar repletas de material vegetal en diferente estado de descomposición (turba).

---

## **Uso Sustentable (de la biodiversidad)**

El uso de los componentes de la biodiversidad en una forma y persistencia que no conduzca a una disminución de la diversidad biológica en el largo plazo, de tal forma de mantener su potencialidad de cumplir sus necesidades y aspiraciones para las generaciones actuales y futuras (modificado de Dasgupta, 2021).

# Anexo 1

## Caracterización de los ciclos naturales del agua y carbono

El estudio de los ciclos del agua y carbono usualmente se realiza en forma fraccionada, considerando procesos individuales, en sistemas aislados, lo que proporciona importante evidencia científica. Sin embargo, datos parcelados en una parte de la cuenca, resultan poco útiles para entender los ciclos biogeoquímicos del agua y carbono y su variabilidad en cantidad y calidad (ej. secuestro versus emisión de CO<sub>2</sub>). Esto resulta en información insuficiente para los tomadores de decisiones respecto a ciclos naturales afectados por el cambio climático. Los principales procesos involucrados en la captura y liberación de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, y H<sub>2</sub>O, son la fotosíntesis y respiración. Mediante la fotosíntesis, el CO<sub>2</sub> es transformado en moléculas orgánicas ricas en energía que están en la base de las tramas de interacciones en los ecosistemas acuáticos y terrestres, mientras que la respiración usa estos substratos para la obtención de energía y liberación de CO<sub>2</sub>. Asociado a la captura, exportación y secuestro de carbono en estos sistemas, existen tanto especies claves, grupos funcionales como asociaciones de especies que permiten una mejor captura de carbono (intercambio entre sistemas terrestres y acuáticos y la atmósfera), y, por tanto, contribuyen en la mitigación del cambio climático.

En relación con el ciclo del carbono, aún persisten muchas dudas acerca de los tiempos de residencia del carbono en suelos agrícolas, siendo reportado el consumo y transformación microbiana de residuos de carbono vegetal como fuente de carbono a la atmósfera, un proceso necesario para el secuestro por largo período de tiempo de la materia orgánica del suelo (Dynarsky et al., 2020). Por ejemplo, el suelo es capaz de almacenar hasta el doble del carbono que existe en la atmósfera (720 Gt), siendo muy importante en aspectos de mitigación del cambio climático, sin embargo, la composición del suelo y el uso de suelo afectan esta capacidad de secuestro versus emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, por lo que es necesario tener un programa de monitoreo permanente (Matus et al., 2021). Un ejemplo de la gran diversidad de ecosistemas y las características de los suelos de Chile, son los contenidos de materia orgánica reportados en un rango de ~0-83% (F. Matus, com. pers.), base de datos pública para los usuarios registrados en CHLSOC: The Chilean Soil Organic Carbon database (Pfeiffer et al., 2019). Se ha reportado que un árbol puede capturar hasta un 50% de carbono fijado por fotosíntesis (como residuos orgánicos), en las raíces (rizósfera), donde las fracciones de arcilla y limo (partículas coloidales del suelo) son capaces de secuestrar (estabilizar) hasta el 85 % del C total del suelo con una longevidad media que varía entre 100 y 10.000 años (Matus, 2020). Acciones de mitigación al cambio climático basadas en manejo del suelo resultan de maximizar la captura de carbono asociado a ecto-micorrizas de áreas forestales que pueden almacenar más carbono en materia orgánica particulada, que es más vulnerable a degradación, pero tiene una menor demanda de nitrógeno y puede, por tanto, ser almacenada (secuestrada) indefinidamente (Cotrufo et al., 2019). Es pertinente agregar que se han implementado plataformas para el estudio de procesos de erosión que derivan en procesos de degradación del suelo como GloSEM (Global Soil Erosion Modeling) que requiere un proceso previo de estandarización de la data en formato adecuado para interactuar con otras disciplinas lo cual exige movernos hacia una ciencia de datos robusta, reproducible y disponible (Borrelli et al., 2020).

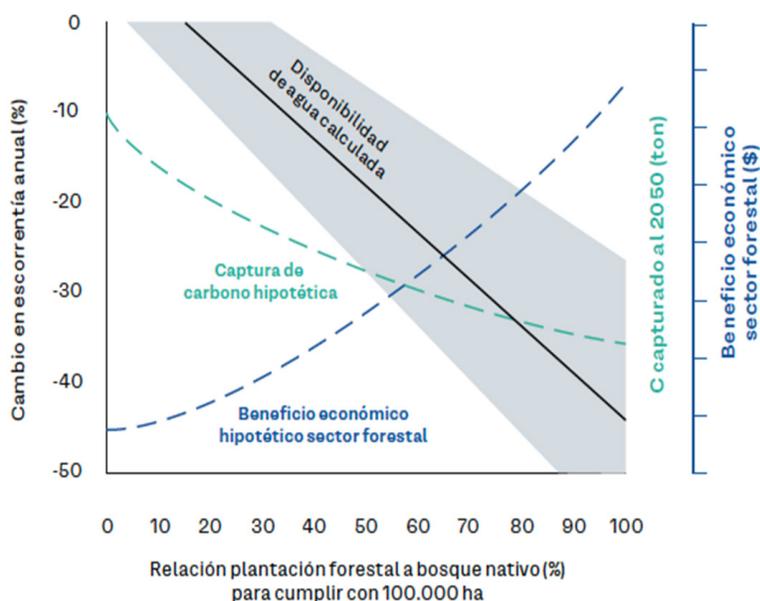
Respecto del ciclo hidrológico, se ha reportado que ~10% de la superficie continental chilena (71.400 km<sup>2</sup>) aumentará en su categoría de aridez (Stehr et al 2019), lo que hace prioritario un análisis de medidas de adaptación en relación con recursos hídricos y pone urgencia de contar con un sistema de información y datos bien organizado y eficaz para tomadores de decisiones. Por ejemplo, el reemplazo del bosque nativo por plantaciones genera decrecimientos en los caudales de las cuencas asociadas, percolación y recarga de acuíferos, alterando el ciclo del agua en una cuenca (Fig 6; Marquet et al, 2019; Martínez-Retuerta et al. 2020).

Figura 7

### Escorrentía y especies arbóreas

Compromiso entre la escorrentía anual bajo diferentes combinaciones de especies arbóreas (plantaciones vs nativas) para un total de 100.000 ha (el área gris corresponde a los percentiles 25 y 75 %) en la cuenca de Río Andalién. La línea verde es la potencial captura de carbono al año 2050 a partir de las especies plantadas, bajo el supuesto de que las especies exóticas estarían sujetas a una rotación de 12 a 18 años (y por lo tanto el carbono capturado se liberaría en forma parcial de vuelta a la atmósfera, mientras que las plantaciones con especies nativas estarían destinadas a generar bosques nativos que mantengan una cobertura permanente, sin cosecha). La línea azul representa el beneficio económico privado potencial (hipotético), proveniente de los productos forestales (principalmente pulpa además de trozas, madera aserrada y tableros).

Fuente: Adaptado de Álvarez-Garretón et al. (2019).



En cuanto a los impactos en sistemas terrestres (como las sequías, y/o modificaciones en los flujos de descarga de agua dulce), usualmente se propagan a los sistemas marinos, donde los efectos combinados de estos ciclos (agua y carbono) tienen impactos en la salud humana, sectores productivos (acuicultura, turismo, pesquería artesanal), biodiversidad (cetáceos, moluscos, corales de agua fría, etc.) (Häussermann et al., 2017; Díaz et al., 2019) y efectos como la proliferación de floraciones algales nocivas (León-Muñoz et al., 2018).

Es importante destacar que los ríos transportan una gran cantidad de carbono orgánico e inorgánico al océano (Cole et al., 2007; Tranvik et al., 2009), donde las marismas y zonas costeras constituyen áreas de almacenaje y secuestro de carbono (Smith et al., 2015). Por esto, la preservación de los caudales naturales es prioritaria en los ríos con el fin de evitar que se transformen en ríos intermitentes, y por lo tanto que aumente su emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera en su fase seca (Raymond et al., 2013) y asegurar la provisión de agua a la población (Crespo et al., 2020). Además, se debe considerar que el agua que finalmente llega al océano cumple un rol muy importante, contribuyendo, entre otros factores, al balance de calor (y energético que incluye evaporación, calor latente), en la captura, exportación y secuestro de carbono y mantención de la biodiversidad. En los sistemas oceánicos y costeros existen especies clave y grupos funcionales que tienen roles equivalentes al bosque nativo de sistemas terrestres y que contribuyen a la captura, exportación y secuestro de carbono al océano profundo, potenciando el rol de la Bomba Biológica de Carbono (BBC) en sistemas oceánicos y costeros a lo largo de Chile (Menschel & González, 2019; González et al., 2009; 2016; Ratnarajah et al., 2014; Krause-Jensen & Duarte, 2016; Barnes et al., 2020). El ciclo del carbono (incluida la Bomba Biológica de Carbono) es especialmente relevante en áreas de mayor intercambio océano-atmósfera como áreas de

surgencia costera, fiordos, canales, sistemas de cañones submarinos, muchos de los cuales se encuentran dentro de nuestro mar territorial (desde la línea de costa hasta las primeras 12 mn hacia el océano), que constituye un área equivalente a un 16% de la superficie continental de Chile.

En el caso del océano, éste se comporta como el gran sumidero de las emisiones antropogénicas (un tercio del total de emisiones de CO<sub>2</sub> es capturado por el océano). Se caracteriza por sistemas altamente productivos en las zonas norte y central de Chile (Thiel et al., 2007), con un balance neto como “fuente” de CO<sub>2</sub> y otros GEI a la atmósfera en sus áreas de surgencia de aguas profundas ricas en carbono (Torres et al., 2011), a un sistema de fiordos y canales patagónicos con una alta productividad estacional y que durante el período productivo (primavera-verano), se comporta como un importante “sumidero” de carbono (Torres et al., 2011; Vergara et al., 2019). Estos autores reportan que los principales factores de variabilidad en este intercambio océano-atmósfera de GEI están asociados a procesos físicos, biológicos, caudales de ríos, congelamiento/derretimiento de glaciación, entre otros.

## Anexo 2

Capacidades de observación instalada en Chile y el extranjero.

Sub-sectores de una cuenca donde se colectan datos del ciclo del agua y carbono, e instituciones responsables de estos datos.

- > **Criósfera:** DGA-Unidad de Glaciología y Nieves ([https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursosohidricos/Inventario\\_glaciares/Paginas/default.aspx](https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursosohidricos/Inventario_glaciares/Paginas/default.aspx)) CECs, Institutos, Centros, Universidades Ministerios, etc.. CEAZA: Red de mediciones glacio-hidrológicos en los Andes del Norte Chico. En Argentina, el IANIGLA (<https://www.ianigla.mendoza-conicet.gob.ar/portal/>), dependiente de CONICET incluye bases de datos en Nivología y Glaciología, además de biológicos y atmosféricos y en este momento está en desarrollo un Observatorio de Nieves y Glaciares a través de una colaboración entre CR2 y IANIGLA de Mendoza ([www.observatorioandino.com](http://www.observatorioandino.com)). Esta plataforma permite visualizar la cobertura de nieve en las principales cuencas hídricas de los Andes subtropicales de Argentina y Chile (27°-37°S) desde el año 2000. Respecto a datos de criósfera Antártica, se considera el repositorio internacional de datos sobre icebergs de SCAR (<https://data.npolar.no/dataset/e4b9a604-1b64-4890-9f21-56b5589807c4>). Esta base de datos incluye información desde 1978 a 2010 posiciones de icebergs registradas por barcos científicos que fueron iniciadas por el Instituto Polar Noruego y luego endosadas a SCAR.
- > **Agua:** (DGA, MinAgri, INIA, DMC, etc.). La red de estaciones de DMC (<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/index/menuTematicoEstaciones>) y DGA (Observatorio Georreferenciado DGA, <https://snia.mop.gob.cl/observatorio/>; Sistema Hidrométrico en Línea DGA, <https://dga.mop.gob.cl/Paginas/hidrolinea-satel.aspx>) mantienen redes nacionales de gran envergadura y con altos requerimientos y nivel de análisis. El stress hídrico (falta de agua) puede ser visualizado de acuerdo con la escala del Índice de Sequía de Palmer en el Explorador del Atlas de Sequías de Sudamérica ([www.sada.cr2.cl](http://www.sada.cr2.cl)).
- > **Sistemas terrestres:** Red agrometeorológica del INIA (<https://agrometeorologia.cl/>), (INFOR, Institutos, Centros, Universidades, Ministerios, etc.). El portal de Ameriflux (<https://ameriflux.lbl.gov/>) incluye los datos de más de 500 Torres Eddy en el mundo. La NOAA tiene portales sobre incendios (<https://www.weather.gov/fire/>), polen (Polen data Bank; <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/pollen>) y otra de estudios de paleoclima en anillos de árboles (Tree-ring data bank; <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/tree-ring>).
- > **Océanos:** SHOA-CENDHOC, IFOP, INACH, Institutos y Centros de Investigación, Universidades, Ministerios, etc. Recientemente se ha propuesto la iniciativa que incluye un “Sistema Integrado de Observación del Océano Chileno” (SIOOC). La finalidad de esta propuesta es integrar e impulsar un sistema de observación que permita acceder a datos rutinarios y continuos sobre el estado del océano chileno (Farías et al., 2019b). La plataforma “Chonos” ([www.chonos.ifop.cl](http://www.chonos.ifop.cl)), operada por el IFOP es un sistema de información oceanográfica y meteorológica. Entrega información sobre modelos de circulación oceanográfica y dispersión de partículas, especialmente en la zona del Mar Interior de Chiloé, y expandiéndose hasta la Región de Magallanes. Lo han usado exitosamente para modelar dispersión de piojo de mar (*Caligus* sp), y acoplando modelos de distribución de partículas junto a modelos tipo IBM para el estudio de estos parásitos (Reche et al., 2021). La plataforma SIMA Austral (Integrated Management System for the Aquaculture) incluye información estratégica de datos sobre producción biofísica, modelos de sistemas marinos costeros y herramientas de apoyo a las decisiones basadas en riesgos para la acuicultura y agencias gubernamentales encargadas de decisiones operacionales (Steven et al., 2019 y <https://research.csiro.au/sima-austral/es/inicio/>). La UdeC a través del proyecto basal COPAS Sur Austral en colaboración con

el centro CEAZA mantiene el portal CDOM ([www.CDOM.cl](http://www.CDOM.cl)). Esta plataforma de información oceanográfica y meteorológica con fines educacionales, de investigación, operacionales y de gestión. El centro CR2 mantiene el portal CAMELS (<http://camels.cr2.cl/>) que proporciona información hidro-meteorológica (datos de fácil acceso) desde estaciones de monitoreo a lo largo de todo Chile. Incluye información de caudales de ríos, precipitación, temperatura, evapotranspiración potencial entre otras (Alvarez-Garretón et al., 2018). EarthShap estudia intensivamente las costas chilenas desde Pan de Azúcar a Nahuelbuta (<https://esdynamics.geo.uni-tuebingen.de/earthshape/index.php?id=129>), mientras que la plataforma de datos BioTime cuantifica los cambios en biodiversidad es aproximadamente 400 ecosistemas del planeta (<http://biotime.st-andrews.ac.uk>). Otro repositorio con datos e información de publicaciones es AquaDocs (<https://aquadocs.org/>), portal a cargo de UNESCO/IOC International Oceanographic Data and Information Exchange (IODE) and IAMSLIC con el apoyo de FAO. Es un repositorio temático que cubre ambientes marinos, costeros de agua dulce y salobre y que considera aspectos de ciencia, tecnología, manejo y conservación de estos ambientes, así como aspectos económicos, socioecológicos y legales de sus recursos.

El SHOA mantiene una red de más de 90 mareógrafos (<http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/list.php?order=delay&dir=asc&operator=5>) distribuidos desde Arica a la Península Antártica en territorio insular, asociado a una red mundial alojada en el IOC de la UNESCO (<http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/>). El CONA-SHOA ha recopilado la información de los visualizadores de información disponibles en el país, información que incluye datos oceanográficos (<http://www.shoa.cl/php/boyas?idioma=es>), temperatura superficial del mar (<http://www.shoa.cl/php/treal.php?idioma=es>) atmosféricos y meteorológicos, AMP's, monitoreos ambientales, fitoplancton y FAN's, simulaciones climáticas. Además, reporta (i) las bases de datos en ciencias acuáticas y repositorios digitales, (ii) el listado y ubicación geográfica de las Estaciones Costeras de Investigación en Ciencias del Mar y (iii) los Sistemas de Monitoreo disponibles en Chile como nutrientes, pH y pCO<sub>2</sub>, y otras variables oceanográficas y meteorológicas (Plan Oceanográfico Nacional 2021-2025, 2020).

- > **Información satelital:** Chile ha manifestado gran interés en incrementar su observación satelital implementado un Sistema Nacional Satelital (satélites equipados con radiómetros de última tecnología), que junto a operación y desarrollo tecnológico (GOE-FACH y UCHILE-estudios espaciales), incrementará la capacidad de monitoreo de diversos componentes como la atmósfera, la criósfera, la biósfera y el océano, todos compartimientos relevantes en los ciclos del agua y el carbono.

Esfuerzos anteriores en la costa de Chile han usado información disponible sobre color del océano desde plataformas como SeaWiFS (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/data/seawifs/>) o MODIS-Aqua (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/data/aqua/>). Esta información, ha permitido caracterizar las concentraciones de clorofila-a y estimaciones de productividad primaria (Iriarte et al., 2007), o la entrada de agua dulce con material en suspensión (plumas de turbidez) desde zonas terrestres a oceánicas (Saldías et al., 2016). La información satelital tiene la ventaja que permite cubrir amplias coberturas espaciales y temporales y la desventaja es que sólo obtiene información superficial (pocas decenas de centímetros) en el océano. Algunos satélites están discontinuados (Aquarius; CZCS), mientras otros siguen activos (Geostationary Ocean Color Imager (GOCI), para clorofila y materia orgánica disuelta coloreada), MODIS-Terra (nubes, temperatura de la atmósfera, nubosidad, aerosoles, etc.), mientras que otros están pronto a ser lanzados a fines de 2022 como el llamado Plankton, Aerosol, Cloud, Ocean Ecosystem (PACE) con un radiómetro que cubre desde longitudes de onda desde el ultravioleta al infrarrojo de onda corta que permitirá estudios de biogeoquímica, ciclo del carbono, nubes, hidro- y aerosoles en el continuo de los sistema tierra-océano-atmósfera (Werdell et al., 2019). Las publicaciones que han usado información satelital de NASA entre 1961 y 2021 están incluidas en <https://pubs.giss.nasa.gov/>, y son un buen punto de partida para ver las aplicaciones, beneficios y potencial de los satélites. El CMM estableció acuerdos con el proyecto Copernicus de la EU ([www.copernicus.eu/es](http://www.copernicus.eu/es)), el que proveerá los datos obtenidos por los satélites Sentinel-3 y Sentinel-6. Este proyecto es parte de una red europea que también incluye a ESA y ECMWF, Mercator Ocean y EUMETSAT. Estos satélites permitirán acceso a información casi en tiempo real de datos tan diversos como uso de suelos agrícolas, actividades mineras en sistemas terrestres y corrientes marinas, TSM y eventos FAN en sistemas marinos de nuestro país.

- > **Atmósfera:** (red de estaciones meteorológicas (DMC <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/>

[index/menuTematicoEmas](#) Investigador responsable es el Sr. Gastón Torres de la DMC); Red de monitoreo de la Radiación UV (DMC <http://www.meteochile.gob.cl/PortalDMC-web/index.xhtml> Investigador responsable es el Sr. Gastón Torres de la DMC); Red de monitoreo de la radiación global y directa (USACH <http://antarctica.cl/datos/> Investigador responsable es el Dr. Raúl Cordero de la USACH); Red de estaciones de monitoreo de composición atmosférica (USACH-NASA <http://antarctica.cl/datos/> Investigador responsable es el Dr. Raúl Cordero de la USACH). Red de monitoreo atmosférico en la Región de Coquimbo, CEAZA & CEAZAmet, responsable es Cristian Orrego: <http://ceazamet.cl> (actualmente incorporada en las redes nacionales: Inia, Red Agroclimática Nacional y CDOM).

- > **Suelos:** CIREN Corfo, SAG y ODEPA, incluyen abundante información del estado de los recursos naturales (<https://esri.ciren.cl/portal/apps/sites/#/ideminagri>), como degradación de suelos como así mismo toda la base de datos de extractos de roles agrícolas cubriendo toda la superficie silvoagropecuarias del país (17,8 millones ha). Esto significa que posee todos los ortofotos escala 1:20.000 que dan cuenta de la clasificación de suelos, su descripción general y su potencial agrícola. Un ejemplo de repositorio recién se realizó para los reservorios de carbono del suelo de Chile y se depositó en un repositorio internacional (ver: CHLSOC: the Chilean Soil Organic Carbon database, a multi-institutional collaborative effort. <https://essd.copernicus.org/articles/12/457/2020/>). Otras series de datos se han publicado incluyendo mapas de suelos de Chile y globales (Padarian et al., 2017).
  
- > **Magnetósfera y Alta Atmósfera:** (red meridional de magnetómetros de baja latitud a lo largo de la costa de Chile y la Antártida (USACH-SAMBA-NASA <http://antarctica.cl/magnetosfera/>; Investigadora responsable es la Dra. Marina Stepanova de la USACH).  
Por ejemplo, parte de estos esfuerzos apuntan – entre otras funciones - a obtener acuerdos sobre acceso, uso de datos, buenas prácticas, protocolos y metadata, acuerdos sobre control de calidad, disseminación de información, desarrollo de capacidad de manejo, entre otras. La plataforma Hidro-met está formada por nodos de datos, visualizadores y modelación del clima de CR2 (<http://www.cr2.cl/downloads/cr2met/>; o [vismet.cr2.cl](http://www.vismet.cr2.cl)) que se articulan con el Centro de Modelamiento Matemático (CMM) y el Laboratorio Nacional de Computación de Alto Rendimiento (NLHPC) de Universidad de Chile.  
En el reporte de la mesa técnica de información hídrica (Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, 2021) (Tabla 23), se entrega variada información sobre los repositorios de datos e información sobre sistemas hídricos (meteorológicos, agua superficial y glaciares): Instituciones, series de tiempo, accesibilidad, tipo de muestreadores, etc. Además, en este reporte (Tabla 24), se incluyen las 2895 estaciones hidrométricas vigentes por región de Chile (DGA, 2016).

## Anexo 3

Equipos Chilenos que actualmente contribuyen a redes internacionales abiertas de Cambio Climático y Caracterización atmosférica

VARIABLE	RED INTERNACIONAL	INSTITUCIÓN CONTRIBUYE	INVESTIGADOR ENCARGADO
Aerosoles	AERONET-NASA (3 Equipos) <a href="https://aeronet.gsfc.nasa.gov">https://aeronet.gsfc.nasa.gov</a>	USACH	Raúl R. Cordero
Aerosoles	SKYNET (2 Equipos) <a href="https://www.skynet-isdc.org/obs_sites.php">https://www.skynet-isdc.org/obs_sites.php</a>	USACH	Raúl R. Cordero
Perfiles atmosféricos vía radiosondas	OGIMET <a href="https://www.ogimet.com/index.phtml">https://www.ogimet.com/index.phtml</a>	USACH	Raúl R. Cordero
Perfiles atmosféricos vía detección remota (LIDAR)	MPL-NASA <a href="https://mplnet.gsfc.nasa.gov">https://mplnet.gsfc.nasa.gov</a>	USACH	Raúl R. Cordero
Perfiles atmosféricos vía radiosondas	OGIMET <a href="https://www.ogimet.com/index.phtml">https://www.ogimet.com/index.phtml</a>	USACH	Raúl R. Cordero
Espectro UV	NDACC NOAA-NASA-UNEP <a href="https://www.ndaccdemo.org">https://www.ndaccdemo.org</a>	USACH	Raúl R. Cordero
Columna de Ozono	EUROBREWNER <a href="http://www.eubrewnet.org/eubrewnet/default/index">http://www.eubrewnet.org/eubrewnet/default/index</a>	USACH	Raúl R. Cordero
Aerosoles	AERONET-NASA <a href="https://aeronet.gsfc.nasa.gov">https://aeronet.gsfc.nasa.gov</a>	UTarapacá	Miguel Rivas
Aerosoles	AERONET-NASA <a href="https://aeronet.gsfc.nasa.gov">https://aeronet.gsfc.nasa.gov</a>	UChile	Roberto Rondanelli
Columna de Ozono	EUROBREWNER <a href="http://www.eubrewnet.org/eubrewnet/default/index">http://www.eubrewnet.org/eubrewnet/default/index</a>	UMAG	Félix Zamorano
Gases Invernadero	GML-NOAA <a href="https://www.esri.noaa.gov/gmd/dv/iadv/index.php?code=eic">https://www.esri.noaa.gov/gmd/dv/iadv/index.php?code=eic</a>	DMC	Gastón Torres
Perfiles atmosféricos vía radiosondas	OGIMET <a href="https://www.ogimet.com/index.phtml">https://www.ogimet.com/index.phtml</a>	DMC	Gastón Torres
pH y pCO <sub>2</sub>	GOA-ON	CEAZA, Universidad de Los Lagos	Iván Perez, Laura Ramajo,
EarthShape	Red de monitoreo climáticos de la cordillera de la Costa Chilena asociada a los proyectos fase I y II (Q)	Universidad de La Frontera	Francisco Matus
Flujo de Metano	AMERIFLUX <a href="https://ameriflux.lbl.gov/sites/site-search/">https://ameriflux.lbl.gov/sites/site-search/</a>	UAustral- UChile	Antonio Lara, Jorge Pérez
Balace de masa glaciar	World Glacier Monitoring Service <a href="https://wgms.ch">https://wgms.ch</a>	DGA, UAustral	Gino Casassa, Marius Schaefer
Propiedades de glaciares cubiertos	IACS - Working Group on Debris covered glaciers <a href="https://cryosphericciences.org/activities/wgdebris/">https://cryosphericciences.org/activities/wgdebris/</a> En desarrollo	CEAZA	Shelley MacDonell
Distribución de glaciares rocosos y sus velocidades	IPA - Action Group : Rock glacier inventories and kinematics <a href="https://www.unifr.ch/geo/geomorphology/en/research/ipa-action-group-rock-glacier/">https://www.unifr.ch/geo/geomorphology/en/research/ipa-action-group-rock-glacier/</a>	CEAZA	Shelley MacDonell

## Anexo 4

### Redes nacionales abiertas de caracterización atmosférica

VARIABLE	INSTITUCIÓN Y ACCESO	ENCARGADO
Meteorológicas	Red de estaciones meteorológicas de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) <a href="https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/index/menuTematicoEmas">https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/index/menuTematicoEmas</a>	Gastón Torres
Meteorológicas	Red de estaciones meteorológicas de la Dirección General de Aguas (DGA) <a href="https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/informacion/catastroEstaciones/">https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/informacion/catastroEstaciones/</a>	Gino Casassa
Meteorológicas	Red de estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico de la Armada <a href="https://meteoarmada.directemar.cl/prontus_meteo/site/edic/base/port/inicio.html">https://meteoarmada.directemar.cl/prontus_meteo/site/edic/base/port/inicio.html</a>	N/D
Meteorológicas	Red de estaciones meteorológicas Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) <a href="https://agrometeorologia.cl">https://agrometeorologia.cl</a>	N/D
Meteorológicas e hidro-lógicas	Repositorio de observaciones climatológicas para Chile. Corresponden a series de tiempo de temperatura (máxima, mínima y media), de precipitaciones y caudales, éstos últimos obtenidos desde las plataformas informáticas de la DMC y DGA. El centro CR2 compila esta información para fines de investigación y docencia y pueden ser visualizados en: <a href="https://explorador.cr2.cl">https://explorador.cr2.cl</a>	CR2
Contaminación Urbana	Red SIMCA del Ministerio del Medio Ambiente <a href="https://sinca.mma.gob.cl/index.php/">https://sinca.mma.gob.cl/index.php/</a>	Marcelo Fernández
Irradiancia UV	Red de monitoreo de la Radiación UV de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) ( <a href="http://www.meteochile.gob.cl/PortalDMC-web/index.xhtml">http://www.meteochile.gob.cl/PortalDMC-web/index.xhtml</a> )	Gastón Torres
Irradiancia de Onda Corta	Red de monitoreo de la radiación solar global y directa de la Universidad de Santiago (USACH) <a href="http://antarctica.cl/datos/">http://antarctica.cl/datos/</a>	Raúl R. Cordero
Composición Atmosférica	Red de monitoreo de composición atmosférica (Ozono, Vapor de Agua, Aerosoles) de la Universidad de Santiago (USACH) <a href="http://antarctica.cl/datos/">http://antarctica.cl/datos/</a>	Raúl R. Cordero

### **Nodos-repositorios de datos y facilidades disponible internacionales: I**

ODE (IOC Committee on International Oceanographic Data and Information Exchange, [iode.org](http://iode.org)), OBPS (Ocean Best Practices System, [oceanbestpractices.org/repository/](http://oceanbestpractices.org/repository/)), OIH (Ocean InfoHub project, [aims.fao.org/access-information](http://aims.fao.org/access-information)), ODIS (IOC Ocean Data and Information System, [catalogue.odis.org](http://catalogue.odis.org)), OBIS (Ocean Biodiversity Information System con un nodo en Chile localizado en la UdeC, [ron.udec.cl](http://ron.udec.cl)), WOD (World Ocean Database, NCEI-NOAA, [ncei.noaa.gov/access/world-ocean-database-select/dbsearch.html](http://ncei.noaa.gov/access/world-ocean-database-select/dbsearch.html)), SOCCOM (Southern Ocean Carbon and Climate Observations and Modeling, [socom.princeton.edu/content/data-access](http://socom.princeton.edu/content/data-access)), SOOS (Southern Ocean Observing System), WOCE (World Ocean Circulation Experiment), GOOS (Global Ocean Observing System). El Inventario de Variables Climáticas Esenciales (Essential Climate Variables (ECV) Inventory (v3.0, <https://climatemonitoring.info/ecvinventory>) mantiene sobre 766 registros de con información de Registros de Datos Climáticos (Climate Data Records, CDR) proporcionados principalmente por las agencias miembros del Committee on Earth Observation Satellites (CEOS; <https://ceos.org/>) y del Coordination Group for Meteorological Satellites (CGMS; <https://www.cgms-info.org/>).



COMITÉ  
CIENTÍFICO  
DE CAMBIO  
CLIMÁTICO

Esta iniciativa se desarrolla como parte del aporte entregado por la Unión Europea, a través de su programa EUROCLIMA+ a Chile en su rol de Presidencia de la 25ª Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, para impulsar la acción climática, tanto en Chile como en América Latina y el Caribe.

La UE es un socio estratégico clave en la acción climática y para conectar los puntos entre la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en apoyo del logro de los objetivos del Acuerdo de París. En esa línea, Chile acordó trabajar conjuntamente con la UE en la preparación y organización de la COP 25.

