



MESA
BIODIVERSIDAD

**Biodiversidad
y cambio climático en Chile:**
Evidencia científica
para la toma de decisiones

Capítulo 6
Datos en
biodiversidad:
Un informe
para COP25



Capítulo 6

Datos en biodiversidad: Un informe para COP25



MESA
BIODIVERSIDAD

COMITÉ
CIENTÍFICO

DE CAMBIO
CLIMÁTICO

AUTORES

Coordinadores

Alejandro Maass^{1,2}, Horacio Samaniego^{3,4}

Coautores

Leisy Amaya⁵, Roberto O. Chávez^{6,7}, Derek Corcoran⁸, Francisco E. Fonturbel^{6,9}, Nicolás García¹⁰, María Fernanda Pérez⁸, Elie Poulin¹, Christian Salas-Eljatib^{10,11}, Rosa Scherson¹, Florencia Tevy¹², Dante Travisany^{1,2}, Gerardo Vergara A.¹³

- 1 Universidad de Chile
- 2 Centro de Modelamiento Matemático
- 3 Universidad Austral de Chile
- 4 Instituto de Conservación, Biodiversidad y Territorio
- 5 Nodo Nacional de Información en Biodiversidad (GBIF Chile), Ministerio del Medio Ambiente
- 6 Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
- 7 Laboratorio de Geo-información y Percepción Remota
- 8 Pontificia Universidad Católica de Chile
- 9 Instituto de Biología
- 10 Universidad Mayor
- 11 Centro de Modelación y Monitoreo de Ecosistemas
- 12 Genomic Engineering, Design and Innovative Solutions in Biotech (GEDIS Biotech)
- 13 Instituto Forestal de Chile (INFOR), Ministerio de Agricultura

Figuras:

Cristián Murillo. Centro de Modelamiento Matemático, Universidad de Chile.

Edición: Miguelángel Sánchez

Diseño: www.negro.cl

Fotos portada: Stanislav Kondratiev y Maros Misove (Unsplash).

Citar como:

Maass, A., H. Samaniego, L. Amaya, R. O. Chávez, D. Corcoran, F. E. Fonturbel, N. García, M. F. Pérez, E. Poulin, C. Salas-Eljatib, R. Scherson, F. Tevy, D. Travisany y G. Vergara (2019). «Datos en biodiversidad: Un informe para COP25». 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.



PROCESO

El proceso de elaboración de este documento buscó recoger la opinión y experiencia de expertos en el ámbito académico, así como de investigadores independientes, profesionales de servicios públicos y ONG dedicados al manejo de información para la biodiversidad, junto con emprendedores privados asociados a la temática. Se desarrolló una primera reunión en el Centro de Modelamiento Matemático de la Universidad de Chile, instancia en la que se organizaron grupos de trabajo por subtemáticas. Estos grupos trabajaron de manera independiente para producir las secciones del documento que fue finalmente revisado, complementado y consolidado por los coordinadores.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la hospitalidad del Centro de Modelamiento Matemático de la Universidad de Chile, y los recursos humanos y financieros aportados por el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la Unión Europea.

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



ÍNDICE DE CONTENIDOS

Resumen ejecutivo	6
Introducción	9
Clima y biodiversidad	9
Historia de los datos en biodiversidad	9
Los datos de biodiversidad hoy	10
El ciclo de vida de los datos	10
Marco normativo y uso de datos en políticas públicas	11
Desafíos	11
Datos en biodiversidad	12
Descripción de datos: ¿Qué indexar y para qué?	12
Panorama global: Iniciativas para aumentar accesibilidad, reutilización e interoperabilidad de los datos de biodiversidad	13
Iniciativas de países: Hacia la integración de datos ambientales y de biodiversidad	18
Panorama local: Avances y brechas	20
Estándares para el intercambio de datos de biodiversidad	23
Recursos físicos para independencia local frente a data warehouses privadas	23
Observatorio para el monitoreo y análisis de la biodiversidad	25
Observación de la biodiversidad	25
Un observatorio nacional de biodiversidad	29



Recomendaciones de políticas públicas 30

Pertenencia, independencia y potestad de los datos de la biodiversidad chilena.	30
Actores relevantes.	31
Sensibilidad y protección	31
Capitalización de la información de los datos de la biodiversidad	32
Generación de infraestructura y servicios	32
Financiamiento.	33
Generación de protocolos para el intercambio de datos	33
Tratados internacionales	33
Política oceánica nacional	34

Referencias. 35

FIGURAS

Figura 1. Flujo de datos en colección y análisis de datos de biodiversidad para el cumplimiento de Metas Aichi	16
Figura 2. Datos de biodiversidad de Chile disponibles hoy en la base global GBIF según fuente de origen	24
Figura 3. Registros de especímenes preservados en colecciones biológicas según país	24
Figura 4. Distribución espacial del número de registros presentes en Chile	25
Figura 5. Representatividad de algunos grupos taxonómicos en GBIF	25

TABLAS

Tabla 1. Tipo de datos para monitorear distintos niveles y aspectos de la biodiversidad, iniciativas globales y locales para aumentar información, brechas en Chile y recomendaciones	20
--	----

Resumen ejecutivo

Entendemos a la biodiversidad como la variedad de genes, especies y ecosistemas que se generan como resultado de los procesos evolutivos a lo largo del tiempo. Los cambios en procesos ambientales y climáticos asociados a la producción de biodiversidad han cobrado tal relevancia que la comunidad científica ha propuesto que hemos entrado en una nueva era geológica llamada Antropoceno, denominada así por el efecto humano sobre las dinámicas bióticas y abióticas en nuestro planeta.

En este contexto, la biodiversidad mundial se enfrenta hoy a la mayor extinción registrada en los últimos 65 millones de años, como consecuencia de los fuertes cambios ambientales asociados al rápido crecimiento de la población humana. Entre los factores responsables de la pérdida de biodiversidad, la comunidad científica ha identificado la pérdida de hábitat, las invasiones biológicas y la sobreexplotación de recursos naturales como los que tienen mayores efectos. Juntos, estos factores interactúan con y son agravados por el calentamiento global, lo que afecta directa e indirectamente a la provisión de servicios ecosistémicos, que a su vez benefician de forma directa e indirecta a las comunidades humanas.

Por ello, resulta clave encontrar los vínculos entre los diferentes factores que intervienen en la conformación de la biodiversidad, no solo para identificar regiones de alta prioridad de conservación y así poder analizar el grado de susceptibilidad de estas regiones a los cambios ambientales causados por factores antropogénicos, sino también para desarrollar herramientas efectivas para enfrentar la crisis ambiental asociada al cambio climático.

Sin embargo, el conocimiento de la biodiversidad no se limita únicamente a la complejidad inherente a los organismos y su entorno, sino también a la de los datos que la describen. La expansión de las fronteras del conocimiento ecológico y evolutivo dependerá en gran medida de nuestra capacidad para generar, acceder, integrar y analizar datos de todas las áreas del conocimiento. Además, es necesaria una gestión adecuada de estos datos para crear nuevo conocimiento, profundizar el existente y ponerlo a disposición de la sociedad, y así desarrollar políticas eficaces de protección del medio ambiente.

A pesar de estas necesidades, solo una pequeña fracción de los datos recolectados sobre biodiversidad a lo largo de la historia es de libre acceso. Se ha estimado que menos del 1% de los datos publicados en ecología son accesibles para la comunidad, y gran parte de estas bases de datos se hallan dispersas entre privados o segregadas entre distintas instituciones y personas. Más aún, la capacidad de análisis con técnicas informáticas y matemáticas modernas y la capacidad de cálculo están restringidas a pocos grupos en Chile, como ocurre en el resto del mundo. De este modo, se hace evidente la necesidad de desarrollar políticas que promuevan el acceso abierto a la información y herramientas de análisis, así como la colaboración científica. Si bien los organismos de financiación fomentan sistemáticamente el desarrollo de actividades de divulgación, hacer disponibles los datos de biodiversidad no se considera todavía como una actividad obligatoria.

En contraste con estas prácticas, la recopilación y sistematización de datos es un mandato legal. A nivel mundial, las Metas de Aichi, acordadas en 2011 en la Convención sobre la Diversidad Biológica, reconocen la necesidad de acelerar los esfuerzos para construir la base de conocimientos sobre la situación y tendencias de la biodiversidad. Esto involucra mejorar el conocimiento de los valores de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas, entre otros. A nivel nacional, la Ley 19.300 mandata al país a ejecutar estudios y programas de investigación, protección y conservación de la biodiversidad. Este mandato incluye también el administrar y actualizar una base de datos sobre biodiversidad, de manera de determinar la línea de base ambiental del país. A su vez, la Estrategia Nacional de Biodiversidad (ENB), instrumento de política pública en materia medioambiental, tiene por objetivo guiar la gestión sustentable de la biodiversidad de Chile.



Sin embargo, la gestión y el análisis posterior de datos para la biodiversidad mantienen aún muchas brechas que no se conciben con el desarrollo del país, tanto en su estado de desarrollo como en su sistema de investigación. Estas incluyen la infraestructura crítica necesaria, el capital humano y la creación de grupos o capacidades multidisciplinarias que den una visión holística, que permita reconocer y dar valor agregado a los datos de biodiversidad en uno de los países con mayor responsabilidad a nivel planetario en este tema, dada la diversidad climática y topográfica tanto de su territorio como del océano que lo rodea.

Entre las brechas detectadas, destacamos:

- › Es necesario instaurar en Chile una política de acceso abierto a los datos de biodiversidad, definir estándares, modernizar nuestros protocolos y enfatizar en toda la comunidad (científicos, tomadores de decisiones y la ciudadanía en general) la necesidad e importancia del acceso universal a los datos que conduzcan a la generación de información en biodiversidad de manera integrada en un mundo cambiante como el actual. Específicamente, se sugiere establecer una política nacional que haga públicos los datos colectados con fondos del Estado.
- › La limitada conectividad de Chile hacia los servidores internacionales dificulta la movilización de grandes volúmenes de información al interior de nuestro país y hacia el extranjero. Esta barrera impide tener sistemas robustos de almacenamiento y análisis de la información en repositorios de datos y metadatos, donde puedan ser verificados y replicados.
- › Necesitamos trabajar a través de protocolos y estándares informáticos que permitan adquirir, integrar, organizar y describir datos de biodiversidad provenientes de múltiples fuentes de conocimiento con datos ambientales, y asegurar su interoperabilidad entre usuarios del ámbito académico, productivo y la sociedad civil. Es importante, además, dar trazabilidad a los algoritmos y flujos de trabajo utilizados en el análisis y visualización de los datos, de manera que puedan ser replicados.
- › En el ámbito de la generación de información, es necesario fortalecer los protocolos y programas que permitan incrementar de manera sostenida y ordenada la calidad y cantidad de datos de biodiversidad del país, y fortalecer los mecanismos de gestión de colecciones biológicas.
- › Es necesario crear programas de infraestructura crítica que, usando tecnologías modernas, permitan dar cuenta de la biodiversidad de nuestro país. Entre ellas, todas las herramientas genómicas modernas —como sistemas de referencia de *barcoding* basados en código de barras de ADN para facilitar identificación de especies problemáticas—, sistemas de imágenes satelitales y servidores o centros de cálculo de alto rendimiento.
- › En el ámbito de la generación de recursos humanos especializados, es necesario fortalecer la cadena completa de formación de grupos multidisciplinarios que permitan abordar con valor agregado los datos de la biodiversidad. Entre ellos podemos mencionar a taxónomos, especialistas en colecciones biológicas, especialistas en el análisis e interpretación de imágenes satelitales y datos masivos geográficos, expertos en cálculo de alto rendimiento, especialistas en interoperabilidad de sistemas, ecólogos con formación en análisis de datos e inteligencia artificial, matemáticos e informáticos con formación en modelación del clima y sistemas biológicos (por ejemplo, ecoinformáticos, bioinformáticos y geoinformáticos).

En consideración de estos puntos y del enorme gradiente de latitud y complejidad geográfica de Chile, así como su gran diversidad de climas y de ecosistemas, se justifica la implementación de un observatorio nacional de biodiversidad, cuyos objetivos fundamentales sean monitorear el estado de la biodiversidad y reportarlo a instancias locales, nacionales e internacionales (Convenio sobre la Diversidad Biológica) y predecir escenarios futuros para la biodiversidad en un marco de cambio climático. Ejemplos de observatorios nacionales de biodiversidad en pleno desarrollo se encuentran en Colombia y China, los que se han acogido al marco de GEO-BON. En ambos casos existe financiamiento nacional e internacional para su implementación, y aunque los directores y contribuidores de datos provienen principalmente de universidades, centros de investigación y servicios públicos, la red nacional es en última instancia coordinada y financiada por el Estado.

Las distintas fases de implementación requieren un compromiso formal y permanente entre las partes con responsables, objetivos, plazos, entregas y financiamiento claros. Tal observatorio nacional deberá reconocer el valor de otros esfuerzos locales y temáticos de biodiversidad (bancos de germoplasma, colecciones botánicas, de animales y hongos, datos satelitales, datos genómicos y de variables abióticas). No obstante, deberá ser capaz de definir variables relevantes a monitorear y predecir con indicadores claros, sistemáticos, científicamente robustos y con estándares y contrapartes internacionales que contribuyan al fin último de indexar, comprender y proteger la biodiversidad mundial y ganar poder de predicción a nivel local.



En vista de la urgencia causada por el cambio climático, recomendamos que se dé valor particular al desarrollo de capacidades numéricas y de transferencia de tecnología en temas de biodiversidad terrestre, marina y estudio de los océanos, y que se promueva con fuerza la cooperación con el propósito de compartir de manera justa y equitativa los datos de biodiversidad, en particular genéticos, satelitales y de condiciones de medio ambiente. Se recomienda el desarrollo de un plan ambicioso de monitoreo que involucre tanto a ambientes terrestres como del océano, que articule todas las capas de integración y análisis de datos discutidas en el informe sobre datos para la biodiversidad y permita no solo generar índices de salud, sino también entender consecuencias del cambio climático y sus proyecciones.

Esta será una contribución de Chile al entendimiento en tiempo real del estatus del patrimonio común de la humanidad. El Estado de Chile debería hacerse parte de los esfuerzos de la comunidad internacional para salvaguardar la biodiversidad a través de un acuerdo ambicioso, integral, inclusivo, justo y equitativo, lo que determinará en parte la posibilidad de nuestro futuro en la Tierra.

Introducción

CLIMA Y BIODIVERSIDAD

Entendemos a la biodiversidad como la variedad de genes, especies y ecosistemas que se generan como resultado de los procesos evolutivos a lo largo del tiempo (Wilson, 1999). Los cambios en procesos ambientales y climáticos asociados a la producción de biodiversidad han cobrado una relevancia tan alta que la comunidad científica ha propuesto que hemos entrado en una nueva era geológica llamada Antropoceno, dado el efecto humano sobre las dinámicas bióticas y abióticas en nuestro planeta (Armesto *et al.*, 2010). En este contexto, la biodiversidad mundial se enfrenta hoy a la mayor extinción registrada en los últimos 65 millones de años producto de los fuertes cambios ambientales asociados al rápido aumento de la población humana. Entre los factores responsables de la pérdida de biodiversidad, la comunidad científica ha identificado la pérdida de hábitat, invasiones biológicas y sobreexplotación de recursos naturales como los que tienen mayores efectos, aunque aún mal comprendidos (Cushman y Huettmann, 2010; Travis, 2003) y que juntos interactúan con y son agravados por el calentamiento global (Malcolm *et al.*, 2006). Esto afecta a la provisión de servicios ecosistémicos, los que benefician directa o indirectamente a las comunidades humanas (Millennium Assessment, 2005). Por ello, resulta clave encontrar los vínculos entre los diferentes factores que intervienen en la conformación de la biodiversidad, no solo para identificar regiones de alta prioridad de conservación (Myers *et al.*, 2000) y así poder analizar el grado de susceptibilidad de estas regiones a los cambios ambientales causados por factores antropogénicos (Ohlemüller *et al.*, 2008), sino también con el fin de desarrollar herramientas efectivas para enfrentar la crisis ambiental asociada al cambio climático.

Sin embargo, el conocimiento de la biodiversidad no se limita únicamente a la complejidad inherente a los organismos y su entorno, sino también a la complejidad de los datos que la describen. La expansión de las fronteras del conocimiento ecológico y evolutivo dependerá en gran medida de nuestra capacidad para generar, acceder, integrar y analizar datos de todas las áreas del conocimiento (Bendix, Nieschulze y Michener, 2012; Michener *et al.*, 2007; Michener y Jones, 2012). Adicionalmente, es necesaria una gestión adecuada de estos datos para crear nuevo conocimiento, profundizar el existente y ponerlo a disposición de la sociedad, para así desarrollar políticas eficaces de protección del medio ambiente.

HISTORIA DE LOS DATOS EN BIODIVERSIDAD

Si bien hemos visto enormes esfuerzos en el estudio de la biodiversidad en las últimas décadas, se estima que la expansión de nuestro conocimiento en el área está fuertemente restringida por: i) la baja cobertura taxonómica e incompleta cobertura espacial; ii) la inconsistencia entre los conjuntos de datos existentes, a menudo recolectados con metodologías y aproximaciones diferentes; y iii) una insuficiente integración a través de las distintas escalas espaciales y temporales en que se expresa la biodiversidad (Pereira y Cooper, 2006). Esto ha hecho que persistan importantes falencias en el conocimiento de la biodiversidad. El estado fragmentario de la información existente se hace evidente con la dispersión de valiosa información entre las distintas colecciones biológicas públicas y privadas con diferentes grados de desarrollo y actualización, un problema que se presenta también en Chile. Muchas de estas colecciones científicas se hallan incompletas e impiden cualquier enfoque taxonómico eficaz y moderno para su comparación con otras colecciones. Finalmente, la capacidad de análisis con técnicas informáticas y matemáticas modernas y la capacidad de cálculo están restringidas a pocos grupos tanto en Chile como en el resto del mundo.



Parte de la solución a este problema es reconocer que el valor de los datos va más allá del uso de cada iniciativa de investigación individual que lo genera. Por lo tanto, el mayor desafío radica en desarrollar maneras efectivas de descubrir, acceder, integrar, preservar y analizar grandes volúmenes de información relevante levantada tanto en los ámbitos de la información científica como desde la ciencia ciudadana, más líneas bases provenientes de la gestión de proyectos de desarrollo asociados a los recursos naturales. Este cuadro de acumulación de información hace evidente que el desarrollo de una infraestructura de datos en biodiversidad va más allá de los requisitos específicos y propósitos puramente científicos (Reichman, Jones y Schildhauer, 2011). Además, evidencia la necesidad de una implementación centralizada de una *infraestructura informática* de acceso abierto y sin restricciones a toda la comunidad (no tan solo la científica), de manera de poder almacenar y comprender el fenómeno de la biodiversidad y abordar su relación con fenómenos ambientales climáticos y antropogénicos.

LOS DATOS DE BIODIVERSIDAD HOY

Solo una pequeña fracción de los datos recolectados sobre biodiversidad a lo largo de la historia es libremente accesible. Se ha estimado que menos del 1% de los datos publicados en ecología son accesibles después de su publicación (Reichman, Jones y Schildhauer, 2011) y gran parte de estas bases de datos se hallan dispersas entre privados o segregadas entre distintas instituciones y personas. Hoy sabemos que la información producida sufre un inevitable proceso de degradación que culmina, a menudo, con el retiro o la muerte de los investigadores originales que han colectado dicha información (Michener *et al.*, 2007). Por esto, se hace evidente la necesidad de desarrollar políticas que promuevan el acceso abierto y la colaboración científica. Si bien los organismos de financiación fomentan sistemáticamente el desarrollo de actividades de divulgación, el intercambio de datos no se considera aún como una actividad obligatoria.

EL CICLO DE VIDA DE LOS DATOS

La creciente disponibilidad de datos ha reforzado la noción de *ciencia abierta* como una manera de potenciar la generación de información tanto en investigación científica como en la planificación y gestión. La ecología y las ciencias ambientales no han estado al margen de este fenómeno, entrando a una nueva era en la producción de valiosa información científica a partir de estos grandes volúmenes de datos. Ejemplos de ello son la creciente disponibilidad de sistemas de observación satelitales que han permitido el registro de datos ambientales marinos y terrestres, y el creciente uso de redes de sensores para el monitoreo *in situ* en investigación de campo (Collins *et al.*, 2006). Este tipo de iniciativas produce una acumulación de información que si bien ha sido rápidamente aprovechada por diferentes tipos de emprendedores que al optimizar procesos ofrecen servicios para la sociedad, su uso ha sido marginal en el ámbito de la biodiversidad. Parte de esto se debe a las dificultades asociadas a la creación de una compleja articulación de plataformas informáticas potentes que permitan apoyar el almacenamiento, estandarización, manejo, y análisis a científicos y tomadores de decisiones en esta época de transición hacia una era de datos intensivos.

Es así como comprender el *ciclo de vida de los datos* es un elemento esencial en la secuencia de la producción de información a partir de datos. Esta secuencia involucra planificación, recolección, control de calidad, descripción, preservación, descubrimiento, integración y análisis (Michener y Jones, 2012). Reconocer y valorizar esta secuencia cobra particular relevancia en el proceso de transformación de datos en información. Este proceso va desde la adquisición simple de datos hasta la generación de unidades de información útiles para la toma de decisiones. Como el estudio de la ecología y el medio ambiente ocurre a diferentes escalas espaciales y temporales, la naturaleza de la información generada es también diversa. Por ello, se han desarrollado protocolos y herramientas para todas las actividades mencionadas anteriormente, orientadas a garantizar el acceso libre de información ambiental y en biodiversidad.



MARCO NORMATIVO Y USO DE DATOS EN POLÍTICAS PÚBLICAS

La recopilación y sistematización de datos no es solo un interés científico, sino un mandato legal. A nivel mundial, las Metas de Aichi,¹ acordadas en 2011 por la Convención sobre la Diversidad Biológica (CDB), reconocen la necesidad de acelerar los esfuerzos para construir la base de conocimientos sobre la situación y tendencias de la biodiversidad. Esto involucra mejorar el conocimiento de los valores de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas, entre otros. A nivel nacional, la Ley 19.300 mandata al país a ejecutar estudios y programas de investigación, protección y conservación de la biodiversidad. Este mandato incluye también administrar y actualizar una base de datos sobre biodiversidad para determinar la línea de base ambiental del país. A su vez, la Estrategia Nacional de Biodiversidad (ENB), instrumento de política pública en materia medioambiental, tiene por objetivo guiar la gestión sustentable de la biodiversidad de Chile. La Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030 tiene cinco objetivos estratégicos, con los cuales se espera, principalmente, promover el uso sustentable de la biodiversidad para el bienestar humano; desarrollar la conciencia, el conocimiento y la participación de la población en el resguardo de la biodiversidad como fuente de bienestar; y proteger y restaurar la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (MMA, 2018). Las bases de datos de biodiversidad son fundamentales para la clasificación de especies con fines de conservación para la gestión de especies exóticas y para la elaboración de políticas, planes y programas. El Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Chile tiene a su cargo el desarrollo y la aplicación de variados instrumentos de gestión ambiental, para los cuales, por recomendación directa de la OCDE y como suscriptor de las Metas de Aichi, debe recopilar y hacer pública toda la información disponible para determinar la línea de base ambiental del país.

DESAFÍOS

Una implementación efectiva de las herramientas para la gestión de la información plantea varios desafíos. Desde un punto de vista técnico, debemos encontrar soluciones para el transporte, almacenamiento y análisis de la información en repositorios de datos y metadatos en los que puedan ser verificados y replicados. También necesitamos trabajar a través de protocolos y estándares que permitan adquirir, organizar y describir estos datos, y asegurar su interoperabilidad entre usuarios del ámbito académico, productivo y la sociedad civil. Es importante, además, preservar los algoritmos y flujos de trabajo utilizados en el análisis y visualización de los datos de manera que permitan ser replicados. Si bien estos temas son desafiantes, las barreras socioculturales pueden ser aún más críticas. Es necesario instaurar en Chile una nueva manera de enfrentar el acceso a los datos de biodiversidad, modernizar nuestros protocolos y enfatizar en toda la comunidad (científica, tomadores de decisiones y la ciudadanía en general) la necesidad e importancia del acceso universal a los datos que conduzcan a la generación de información en biodiversidad en un mundo cambiante como el actual.

1 «Aichi Biodiversity Targets», Convention on Biological Diversity, <https://www.cbd.int/sp/targets/>.



Datos en biodiversidad

DESCRIPCIÓN DE DATOS: ¿QUÉ INDEXAR Y PARA QUÉ?

Como país miembro del Convenio sobre la Diversidad Biológica, Chile se comprometió a implementar acciones para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad, conforme a veinte metas mundiales (las Metas de Aichi) orientadas a detener la pérdida de diversidad biológica y enfrentar las causas subyacentes que provocan su deterioro (MMA, 2018). Para lograr este desafío se requiere contar con información actualizada y estandarizada sobre el estado y las tendencias de la biodiversidad en sus distintos niveles de organización (de genes a ecosistemas) y grupos taxonómicos a lo largo de una cobertura geográfica suficiente para estimar indicadores a escala local, regional y nacional, incluyendo el océano.

Dada la complejidad que implica monitorear la biodiversidad, se han hecho esfuerzos por definir variables esenciales para la biodiversidad (EBV, por sus siglas en inglés) (Jetz *et al.*, 2019; Pereira *et al.*, 2013) que abarquen distintos niveles de organización y dimensiones de la diversidad biológica (figura 1). Estas variables incluyen información sobre la abundancia, fenología y distribución de especies basadas en registros de presencia o censos poblacionales georreferenciados. Además, pueden ser vinculadas con información sobre las especies, incluyendo aspectos taxonómicos (nombres científicos y comunes, sinonimias), relaciones de parentesco (filogenia), rasgos funcionales y composición genética. Al estar georreferenciadas, las variables de biodiversidad pueden ser proyectadas en un mapa para estimar riqueza de especies o diversidad filogenética y funcional de un área específica. Estas variables pueden relacionarse con datos ambientales (clima, topografía, hidrología, cobertura y uso de suelo, biogeoquímica) para describir la estructura y funcionamiento de los ecosistemas.

La integración entre datos de biodiversidad y datos ambientales es también crucial para determinar los requerimientos abióticos de las especies y generar modelos de distribución (Elith y Leathwick, 2009; Guisan, Thuiller y Zimmermann, 2017; Kearney y Porter, 2009). En general, estos modelos se han basado en datos climáticos (Castillo *et al.*, 2018). Sin embargo, la creciente disponibilidad de datos ambientales ha permitido incorporar variables biogeoquímicas (especialmente en ambientes marinos) y de cobertura de suelo. El cruce entre datos de biodiversidad y variables ambientales es entonces usado en una primera instancia para comprender y establecer la relación entre la biodiversidad, las variables ambientales y las funciones ecosistémicas, y así estudiar la resiliencia de los ecosistemas a los cambios globales (Côté y Darling, 2010; Scheffer *et al.*, 2001). En una segunda instancia, los modelos de distribución de especies pueden ser aplicados para evaluar y predecir cambios en la fenología, abundancia o distribución de especies bajo distintos escenarios de cambios ambientales como los climáticos, biogeoquímicos, y en la cobertura y uso de suelo. Estas proyecciones pueden ser luego usadas para estimar indicadores que permitan monitorear el cumplimiento de las Metas Aichi, incluyendo el grado de amenaza y riesgo de extinción de especies nativas, probabilidades de expansión de plagas y especies invasoras; y porcentaje de protección de una especie, entre otros. La proyección de modelos de varias especies puede ser usada para predecir cambios en la riqueza y diversidad funcional en un área en particular, de manera de orientar la toma de decisiones en la planificación y gestión de dicha área (por ejemplo, un parque nacional). Finalmente, aquellos modelos que evalúan el efecto del cambio de uso del suelo o cambios en el clima (u otras variables ambientales) sobre el funcionamiento de ecosistemas, permiten una evaluación directa del deterioro de los servicios ecosistémicos bajo estos distintos escenarios de cambio global y cambio climático.

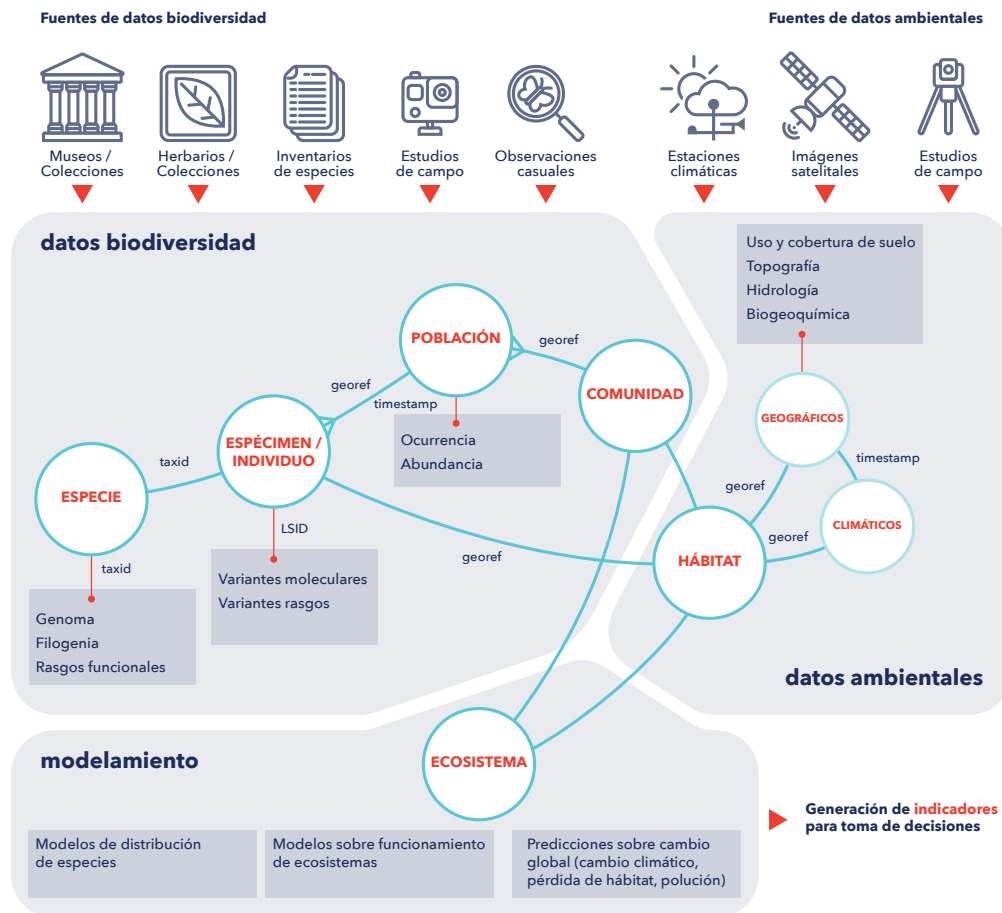


Figura 1. Flujo de datos en colección y análisis de datos de biodiversidad para el cumplimiento de Metas Aichi.

PANORAMA GLOBAL: INICIATIVAS PARA AUMENTAR ACCESIBILIDAD, REUTILIZACIÓN E INTEROPERABILIDAD DE LOS DATOS DE BIODIVERSIDAD

La actual información sobre biodiversidad está segregada en multiplicidad de bases de datos especializadas, artículos científicos y reportes técnicos (Lapp *et al.*, 2011). Esto ha impulsado el desarrollo de varias iniciativas globales colaborativas, conectadas a programas internacionales y bases locales. Estas iniciativas buscan mantener, compartir e integrar información de biodiversidad de distintos tipos y fuentes, además de facilitar el acceso libre y gratuito a diversos tipos de usuarios (científicos, educadores, tomadores de decisiones) con el objetivo de fomentar la reutilización de datos. Además de ser repositorios de datos de biodiversidad, varias de estas iniciativas han desarrollado plataformas informáticas para facilitar el ingreso de datos, su análisis y visualización. En general, aunque interconectadas, estas iniciativas se enfocan en distintos aspectos específicos de la biodiversidad. Sin embargo, es posible clasificar estas iniciativas en las siguientes categorías generales.



Catálogos de especies

La información básica para describir la biodiversidad de una región es la riqueza de especies, que involucra el desarrollo de un inventario completo de las especies presentes en una localidad, región o país. A nivel global, la iniciativa más completa es el Catalogue of Life,² que mantiene la lista de nombres aceptados (nombre científico, nombres comunes, sinonimias, autoridades) y distribuciones de más de 1,9 millones de especies que representan el 95% de las especies descritas, y probablemente el 25% de los 8 millones de especies que se estima que existen. También se registran los actos o cambios de nomenclatura derivadas de la revisión continua de la taxonomía.

Sistemática (filogenia)

Este tipo de iniciativas está centrado en la descripción de la diversidad filogenética. Esta descripción de la diversidad incorpora las diferencias evolutivas entre especies, por lo que requiere conocer las relaciones de parentesco entre taxones. El desafío más ambicioso en esta área ha sido liderado por el proyecto Open Tree of Life,³ que ha ensamblado el árbol filogenético de 2,3 millones de taxones, combinando dos fuentes de información: las filogenias moleculares publicadas —con menos del 20% de las especies nombradas— y las clasificaciones taxonómicas que nunca han sido incorporadas a filogenias (Hinchliff *et al.*, 2015). La base más importante de filogenias es TreeBASE⁴ (Smith y Brown, 2018).

Descripción de especies y rasgos funcionales

El monitoreo y conservación de especies requiere contar con información sobre la historia de vida, ecología y usos, además de descripciones taxonómicas que ayuden a su identificación. En particular, se destaca la importancia de identificar y cuantificar rasgos funcionales, ya sean morfológicos, fenológicos, reproductivos o de comportamiento, relevantes para predecir respuestas a cambios ambientales. Esto permite determinar ciertos grados de interacciones con otros organismos. A nivel global, se han desarrollado algunas iniciativas para compilar rasgos funcionales para distintos grupos. FishBase,⁵ por ejemplo, contiene información que cubre más de 33.000 especies de peces compilada de más de 52.000 referencias (Froese y Pauly, 2000); TRY, con más de 11 millones de registros de 280.000 especies de plantas (Bruehlheide *et al.*, 2018; Kattge *et al.*, 2011); y Global Biotic Interactions,⁶ con aproximadamente 1,6 millones de interacciones. Ambas iniciativas alimentan a su vez la plataforma Encyclopedia of life (EOL),⁷ que busca compilar y difundir a académicos, políticos y público general toda la información posible (escrita, imágenes, videos, mapas, etcétera) del mayor número de especies usando imágenes y videos. Esta importante plataforma ya cuenta con 12 millones de atributos para 2 millones de especies registradas desde su creación en 2006.

Composición genética y barcoding

En general, la identificación de especies se basa en descripciones morfológicas y claves taxonómicas. Sin embargo, esta identificación resulta difícil de aplicar en muchos grupos de organismos para los cuales no contamos con descripciones precisas o claves taxonómicas que diferencien un grupo de otro, o bien en grupos de organismos en que la definición de especie clásica es cuestionada (hongos, eucariontes unicelulares, bacterias). Existen incluso situaciones en las que el estado fenológico de los organismos no permite identificar los rasgos diagnósticos (por ejemplo, huevos, larvas y juveniles). Para facilitar la identificación de especies en estas situaciones, se propuso la necesidad de desarrollar una colección de referencias de secuencias de regiones universales de ADN con la suficiente variabilidad y especificidad para determinar especies. La noción que subyace a esta idea es contar con una herramienta que sirva como un código de barras (*barcode*) para la clasificación de especies de forma inequívoca (Hebert *et al.*, 2003). En el caso de animales, se propuso la región mitocondrial COI (Moritz y Cicero, 2004), y en plantas las regiones cloroplastidiales, *matk* y *rbcL* (Chase *et al.*, 2005). Con el propósito de construir una colección pública de secuencias de referencia se generó el consorcio

2 Sitio web de Catalogue of Life, disponible en <https://www.catalogueoflife.org>.

3 Sitio web de Open Tree of Life, disponible en <https://tree.opentreeoflife.org>.

4 Sitio web de TreeBASE, disponible en <https://www.treebase.org>.

5 Sitio web de FishBase, disponible en <https://www.fishbase.org>.

6 Sitio web de Global Biotic Interactions, disponible en <https://www.globalbioticinteractions.org>.

7 Sitio web de Encyclopedia of Life, disponible en <https://eol.org>.



Barcode of Life⁸ en el año 2007, que hoy es el International Barcode of Life.⁹ Existen también otras iniciativas, como Barcode 500K y Bioscan. Hoy, junto a entidades como Global Biodiversity Information Facility (GBIF),¹⁰ entre otros, integran la iniciativa Planetary Biodiversity Mission,¹¹ que tiene como objetivo analizar y obtener sistemas de identificación de *barcode* en 100 millones de especímenes al 2045.

Distribución de especies

Los modelos de distribución de especies se alimentan de registros de presencia o censos de organismos (taxón) en un lugar y período de tiempo provenientes de distintas fuentes, incluyendo colecciones biológicas, inventarios, estudios de campo a corto o largo plazo publicados en libros, artículos científicos o reportes técnicos, así como provenientes de observaciones ocasionales (por ejemplo, ciencia ciudadana) (Franklin, 2009; Guisan, Thuiller y Zimmermann, 2017).

La iniciativa más importante orientada a reunir, intercambiar y hacer más accesible la información de presencia y distribución es la Global Biodiversity Information Facility (GBIF), creada en 2001 por los gobiernos de la OCDE. Esta iniciativa es un sistema distribuido de acceso abierto, con diversos proveedores de datos, que son responsables de la calidad y el control total de los datos. Esto significa que tienen la potestad de restringir el acceso a información sensible (por ejemplo, coordenadas geográficas de especies amenazadas). En este modelo de gestión de datos, los usuarios deben reconocer y citar apropiadamente las fuentes de datos suscribiendo un acuerdo de uso e intercambio de datos basado en el respeto por los derechos de propiedad intelectual. Actualmente, GBIF cuenta con más de 1.300 millones de ocurrencias de 2 millones de taxones distribuidos a nivel planetario. GBIF Además, proporciona a las instituciones proveedoras de datos de todo el mundo estándares comunes y herramientas de código abierto que les permiten compartir información sobre dónde y cuándo se han registrado las especies.

Abundancia de especies

Corresponde a medidas de tamaño poblacional, densidad o cobertura de organismos de un taxón con información espacial y temporal, usualmente provenientes de estudios de largo plazo con protocolos de muestreo explícitos, estandarizados y aceptados por la comunidad científica. Estos pueden ser censos permanentes, estacionales u ocasionales. A nivel global, la iniciativa más relevante es Living Plant Index,¹² que agrupa una colección de 18.500 series temporales de 3.700 vertebrados en 5.598 sitios desde 1970. Enfocada en el grupo de las aves, existe también eBird,¹³ un programa de ciencia ciudadana que tiene registros de aves en tres millones de sitios desde el año 2000.

Estructura de ecosistemas

El monitoreo de los ecosistemas involucra la integración de variables de biodiversidad y ambientales que describan la composición de especies (filogenética y funcional), estructura del hábitat, así como los procesos ecosistémicos asociados a los flujos de materia y energía (es decir, agua). Las variables más usadas para representar y evaluar el efecto de la estructura sobre la biodiversidad son la cobertura y uso de suelo, la agregación espacial y la organización vertical. Muchas de estas variables pueden ser monitoreadas mediante la percepción remota y procesamiento de imágenes satelitales de distintos instrumentos (por ejemplo, Landsat, MODIS); sin embargo, otras requieren de medición en terreno de forma permanente en el tiempo.

8 «Barcode of Life», National Center for Biotechnology Information, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/barcode>.

9 Sitio web de International Barcode of Life, disponible en <https://ibol.org>.

10 Sitio web de Global Biodiversity Information Facility, disponible en <https://www.gbif.org>.

11 Sitio web de Planetary Biodiversity Mission, disponible en <http://planetarybiodiversity.org>.

12 Sitio web de Living Planet Index, disponible en <http://www.livingplanetindex.org>.

13 Sitio web de eBird Chile, disponible en <https://ebird.org/chile>.



Función de ecosistemas

Las variables funcionales más usadas son la producción primaria neta y la retención de nutrientes, para cuya caracterización se han generado varios modelos globales (FAOSTAT, INVEST). La caracterización de estas variables involucra la integración de datos ambientales y de biodiversidad. Este es un desafío a nivel global que ha sido emprendido por la red Group of Earth Observations (GEO BON).¹⁴ Esta red, constituida por 77 países, se centra en mejorar la disponibilidad, acceso e interoperabilidad de información ambiental, así como en determinar la condición de los sistemas socioecológicos. Existe también el Ocean Biogeographic Information System (OBIS),¹⁵ enfocado en los océanos. A estas iniciativas se suma la International Long Term Ecological Research Network (ILTER),¹⁶ establecida en 1993, que actualmente agrupa 800 sitios de estudio en 44 países.

Datos fósiles

Con respecto de la biodiversidad del pasado, se pueden encontrar esfuerzos colaborativos de instituciones públicas como NeotomaDB,¹⁷ con colecciones de polen, diatomeas, insectos y vertebrados fósiles, entre otros. Por otra parte, PaleoDB¹⁸ consiste en una recopilación de datos sobre fósiles. Incluye clasificación taxonómica integrada dinámicamente y posee una escala de tiempo geológica que permite consulta y análisis en diferentes épocas. Además de suministrar datos propios, PaleoDB ha recopilado información proveniente de bases de datos antiguas como Evolution of Terrestrial Ecosystems¹⁹ del Smithsonian y el proyecto Paleogeographic Atlas Project²⁰ de la Universidad de Chicago. Este conjunto de datos documenta animales marinos y terrestres, así como plantas y microfósiles de todas las edades geológicas.

14 Sitio web de Group of Earth Observations, disponible en <https://geobon.org>.

15 Sitio web de Ocean Biogeographic Information System, disponible en <https://obis.org>.

16 Sitio web de International Long Term Ecological Research Network, disponible en <https://www.ilter.network>.

17 Sitio web de Neotoma Paleocology Database, disponible en <https://www.neotomadb.org>.

18 Sitio web de The Paleology Database, disponible en <https://www.paleobiodb.org>.

19 «Evolution of Terrestrial Ecosystems», Smithsonian National Museum of Natural History, <https://naturalhistory2.si.edu/ETE>.

20 «Paleoecological Atlas Project Map», Department of Geophysical Sciences, Universidad de Chicago, 10 de julio de 2008, http://geosci.uchicago.edu/~rowley/Rowley/Paleogeographic_Atlas_Project.html.



Tabla 1. Tipo de datos para monitorear distintos niveles y aspectos de la biodiversidad, iniciativas globales y locales para aumentar información, brechas en Chile y recomendaciones.

Tipo de datos	Iniciativas globales (acceso abierto)	Disponibilidad de datos nacionales	Brechas en Chile	Recomendaciones
Catálogos	– Catalogue of Life (COL): Nombres, sinónimos y distribución de 1,9 millones de especies.	– Plantas vasculares del Cono Sur (en línea) (basado en Argentina pero contiene datos de Chile).	– Chile cuenta con catálogos exhaustivos actualizados solo para algunos grupos taxonómicos (menos del 30%).	* Fortalecer la formación de taxónomos-especialistas. * Fortalecer financiamiento para la gestión de colecciones biológicas. * Implementar sistema de referencia en base a código de barras de ADN para facilitar identificación de especies problemáticas. * Promover y facilitar publicación de datos de biodiversidad en bases de acceso abierto con estándares consensuados.
Atributos de especies	– Encyclopedia of Life (EOL): 12 millones de atributos para 2 millones de especies. – TRY: Rasgos funcionales de 200.000 plantas. – FishBase: Rasgos funcionales y distribución de 33.000 peces.	– Inventario nacional de especies (MMA): Fichas para 3.500 especies nativas. – Sitios de difusión, Chile Bosques.	– Descripciones de especies están segregadas en cientos de monografías, artículos o guías de campo.	
Distribución	– Global Biodiversity Information Facility (GBIF): 4.109 ocurrencias de 2 millones de especies.	– GBIF-nodo Chile. – IABIN-Chile	– Menos del 1% de los datos generados en Chile está en bases de acceso abierto.	
Abundancia	– Living Plant Index (LPI): Censos de vertebrados de 5.598 sitios. – eBird: Monitoreo de aves en 3 millones de sitios. – Global-Interactions: 1,6 millones de interacciones bióticas.	– LTER Chile: Red de estudios de largo plazo. – GEF Montaña.	– La mayoría de los estudios de campo usan distintos protocolos, por lo que no sirven de línea base para monitorear abundancia de especies.	* Detectar brechas (GAPS) de información para incentivar estudios en áreas y taxa menos muestreados. * Incentivar estudios sistemáticos a largo plazo con protocolos de muestreo estandarizados. * Promover la formación de especialistas en el análisis e interpretación de imágenes satelitales y datos masivos geográficos. * Implementar plataformas con estándares y protocolos de conexión que permitan integrar datos de biodiversidad provenientes de múltiples fuentes de conocimiento con datos ambientales.
Sistemática	– Tree of Life: 2,3 millones de taxones. – TreeBASE: 700.000 especies.		– Se desconoce o no hay incerteza con respecto de la posición filogenética de varias especies y grupos taxonómicos.	
Barcoding	– Barcode of Life		– Información incompleta.	
Composición genética	– GenBank NCBI		– Información incompleta.	* Implementar plataformas con estándares y protocolos de conexión que permitan integrar datos de biodiversidad provenientes de múltiples fuentes de conocimiento con datos ambientales.
Estructura de ecosistemas	– GEO BON: Modelos a escala global. – LTER: Red de estudios a largo plazo. – OBIS: Enfocada en océanos.	– Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales (SIMEF, INFOR). – LTER Chile.	– Información ambiental está disponible en CIREN, pero no es de fácil acceso.	
Funcionamiento de ecosistemas	– GEO BON			



INICIATIVAS DE PAÍSES: HACIA LA INTEGRACIÓN DE DATOS AMBIENTALES Y DE BIODIVERSIDAD

En paralelo al desarrollo de iniciativas globales, orientadas a compilar grandes volúmenes de datos de biodiversidad, varios países han desarrollado sistemas de información vinculados a iniciativas globales con portales de datos de acceso abierto, en línea y colaborativos, que albergan información de especies (descripciones con imágenes, distribución, hábitat, categorías de riesgo), registros de presencia (especímenes, observaciones), datos ambientales (datos de clima, topografía, biogeoquímica) y contextuales (límites políticos, áreas protegidas, ecorregiones). En las mismas plataformas se pueden entregar herramientas para la visualización de datos (mapas de distribución), modelamiento y análisis de datos, además de productos ya procesados (por ejemplo, fichas de especies). A continuación, se presentan algunas iniciativas de países que han alcanzado alguna importancia a nivel global.

ALA

Atlas of Living Australia²¹ es una plataforma implementada por el gobierno australiano que, además de compilar datos de ocurrencia (sobre 85 millones de registros), descripciones, imágenes y literatura de especies, integra información biológica con más de 500 datos ambientales (por ejemplo, clima, salinidad del suelo, radiación solar) y contextuales (límites políticos, áreas protegidas, ecorregiones) con una resolución espacial de 1 km. La integración de datos biológicos y ambientales, junto con el desarrollo de herramientas para la visualización y análisis de datos en la misma plataforma, ha permitido el desarrollo de una serie de aplicaciones para investigadores, educadores y tomadores de decisiones.

NSF NEON USA

El National Ecological Observatory Network (NEON)²² de la National Science Foundation en Estados Unidos es una instalación de observación a escala continental diseñada para recopilar datos ecológicos de acceso abierto a largo plazo para comprender mejor cómo están cambiando los ecosistemas en los Estados Unidos. NEON recolecta datos ambientales y muestras que caracterizan plantas, animales, suelo, nutrientes, agua dulce y atmósfera de 81 sitios de campo ubicados estratégicamente en ecosistemas terrestres y de agua dulce en el país. Estos constan de 175 conjuntos de datos y recolectan más de 100.000 muestras biológicas, genómicas y geológicas por año que se almacenan en el biorrepositorio de NEON. Los datos completos, la extensión espacial y la tecnología de teledetección proporcionada por NEON permitirán a una comunidad de usuarios amplia y diversa abordar nuevas preguntas a escalas no accesibles para las generaciones anteriores de ecólogos.

EncicloVida

Otra plataforma destacable es la implementada por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) de México.²³ CONABIO tiene la misión de promover, coordinar, apoyar y organizar actividades dirigidas al conocimiento de la diversidad biológica, así como a su conservación y uso sustentable para beneficio de la sociedad. Además, es un ejemplo a nivel global en la socialización de la biodiversidad. EncicloVida²⁴ es una plataforma digital para conocer a las especies de plantas, hongos y animales de México e integra información que la CONABIO ha reunido a través del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB).²⁵

21 Sitio web de Atlas of Living Australia, disponible en <https://www.ala.org.au>.

22 Sitio web de National Ecological Observatory Network, disponible en <https://www.neonscience.org>.

23 «CONABIO», Gobierno de México, <https://www.gob.mx/conabio>.

24 Sitio web de EncicloVida, disponible en <http://enciclovida.mx>.

25 Sitio web del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de México, disponible en <http://www.snib.mx>.



CRBio

El Atlas de la Biodiversidad de Costa Rica (CRBio)²⁶ proporciona acceso gratuito y abierto a datos e información sobre la biodiversidad del país para apoyar la ciencia, la educación y la conservación. CRBio es un esfuerzo nacional en el que han colaborado varias organizaciones, como instituciones no gubernamentales, universidades, centros de investigación y organismos gubernamentales. El primer portal de datos de CRBio se lanzó en 2006; después de diez años, gracias al apoyo de ALA y GBIF, el Instituto Nacional de Biodiversidad de Costa Rica (INBio)²⁷ implementó un nuevo portal. Esta implementación fue financiada por una subvención del proyecto del Gobierno costarricense e incluye 5.000 páginas de especies, más de 50.000 imágenes y alrededor de 7 millones de registros de ocurrencia, todos georreferenciados. Los registros de sucesos forman parte de casi 400 bases de datos y fueron publicados por centros de investigación en más de 30 países. Las páginas de especies siguen el estándar Plinian Core,²⁸ centrado en establecer un lenguaje común para la descripción de especies que incluye su descripción, nomenclatura, estado de conservación, manejo, historia natural, etcétera.

SiB Colombia

Por último, destacamos el portal del Sistema de Información sobre Biodiversidad (SiB) de Colombia.²⁹ El principal propósito de SiB es brindar acceso abierto a información sobre la diversidad biológica de Colombia para la construcción de una sociedad sostenible. Además, facilita la publicación en línea de datos e información sobre biodiversidad, y promueve su uso por parte de una amplia variedad de audiencias, apoyando de forma oportuna y eficiente la gestión integral de la biodiversidad. Esta red de datos abiertos actualmente cuenta con más de 7 millones de registros biológicos, 122 socios publicadores de datos, más de 5.000 fichas de especies y más de 150 listas de especies publicadas.

Existen otras iniciativas dentro de las cuales destaca IDigBio,³⁰ que no solo ofrece datos disponibles, sino que además explica el procedimiento de mediciones para los datos que el sistema de recolección almacena. Así, también ofrece herramientas computacionales tanto para el uso como para el análisis de la información y se enfoca en diversos taxones.

²⁶ Sitio web de Atlas de la Biodiversidad de Costa Rica, disponible en <http://www.crbio.cr>.

²⁷ Sitio web del Instituto Nacional de Biodiversidad de Costa Rica, disponible en <https://inbio.ac.cr>.

²⁸ «Plinian Core», proyecto en Github, <https://github.com/tdwg/PlinianCore/wiki/About>.

²⁹ Sitio web del Sistema de Información de Biodiversidad de Colombia, disponible en <https://sibcolombia.net>.

³⁰ Sitio web de Integrated Digitized Biocollections, disponible en <https://www.idigbio.org>.



PANORAMA LOCAL: AVANCES Y BRECHAS

Chile alberga alrededor de 1,5 millones de especímenes en más de 40 colecciones biológicas, lo que representa menos del 0,05% de los 3 billones de ejemplares que se estima que existen en el mundo. Las colecciones chilenas más importantes por su envergadura y representatividad taxonómica son las de la Universidad de Concepción, con 690.000 especímenes (49,5% del total de ejemplares) y 12.000 holotipos y paratipos (51,1%), y la colección del Museo Nacional de Historia Natural, con 578.000 ejemplares y 11.000 holotipos, que representan más del 90% de los ejemplares depositados en Chile (MMA, 2008). Varias instituciones han hecho importantes esfuerzos por validar, georreferenciar y sistematizar la información de sus colecciones en bases electrónicas tipo Excel. Las principales dificultades para lograr esta tarea han sido la escasez de taxónomos especialistas, la falta de financiamiento y la baja valoración que se ha dado a las colecciones biológicas. Actualmente, la información de menos del 1% de los ejemplares depositados en el país está disponible en GBIF.

Recientemente, el Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Chile ha firmado convenios con varias instituciones para revertir esta situación. Estas iniciativas apuntan a impulsar una política nacional de datos de biodiversidad que busca como prioridad aumentar la accesibilidad a datos primarios y producir información altamente procesada. A corto plazo, se espera generar una red nacional de información como estrategia para tender puentes entre la ciencia, la política y la toma de decisiones.

A nivel de especies, el Ministerio ha implementado el Inventario Nacional de Especies, con información de historia natural y de gestión de 3.500 de las 33.000 especies silvestres nativas de Chile, así como de especies exóticas asilvestradas. Esto se ha complementado con varios sitios de difusión.³¹ A pesar de estos esfuerzos, la información de la mayoría de las especies chilenas sigue segregada en cientos de monografías especializadas o guías de campo, floras y faunas locales. Como ejemplo, la última flora de Chile completa data de 1911 (Reiche, 1911). Más aún, no existen catastros actualizados para hongos, líquenes, hepáticas y diversos grupos de animales. Además, la representación de especies en las bases globales es baja. Por ejemplo, la base global COL solo registra 18.000 de las 33.000 especies presentes en Chile y solo 1.106 especies han sido clasificadas según su categoría de conservación, con un claro sesgo hacia plantas vasculares y vertebrados.

Entre otras de las iniciativas lideradas por el Ministerio, destaca la instalación del Nodo Nacional de Información sobre Biodiversidad, GBIF Chile.³² Este nodo, establecido en Chile el año 2012 y operativo desde 2016, busca articular y fomentar la captura y registro de calidad de los datos sobre biodiversidad en el país, aportar herramientas técnicas para la administración de datos biológicos, impulsar la colaboración entre iniciativas nacionales e internacionales relacionadas con datos de biodiversidad y gestionar financiamientos potenciales en el área. En su función facilitadora, esta iniciativa colabora con los socios para que puedan publicar sus datos mediante el uso de protocolos y estándares comunes, asegurando la interoperabilidad, el acceso libre y la máxima reutilización de los datos.

Actualmente, la base GBIF alberga dos millones de registros de especies presentes en Chile. La mayoría de estos registros son de aves del proyecto de ciencia ciudadana e-Bird (**figura 2**). De estos, 483.000 registros de ejemplares están albergados en colecciones biológicas y menos del 2% provienen de herbarios o museos chilenos. Esta situación contrasta con la de otros países de América Latina (**figura 3**), donde el número de registros de ejemplares preservados en colecciones biológicas llega a ser 20 veces más alto —por ejemplo, en Brasil— y donde el porcentaje de registros publicados por los propios países alcanza el 45%, como es el caso de México.

Otra fuente importante de datos sobre la biodiversidad son los estudios de campo publicados en artículos científicos y libros correspondiente al 57% de los datos (MMA, 2018), que en su mayoría son desarrollados por investigadores de instituciones académicas y con fondos públicos. Sin embargo, a pesar de que en el país se ha hecho un esfuerzo por mantener una base de las publicaciones en el área ambiental (CIREN e INFOR), la mayor parte de los datos publicados están en un formato de difícil acceso. El caso de Chile dista de los países de la región, que han digitalizado e incorporado a GBIF *checklists* e inventarios locales. Por último, en una encuesta realizada por el Ministerio del Medio Ambiente en 2011, menos del 30% de los investigadores estaba dispuesto a poner datos en bases de acceso abierto.

31 Ejemplos son los sitios Chile Bosque (disponible en <http://www.chilebosque.cl/>) y Musgos de Chile (disponible en <http://www.musgosdechile.cl/>).

32 Sitio web del Nodo Nacional de Información sobre Biodiversidad, Ministerio del Medio Ambiente de Chile, disponible en <https://gbifchile.mma.gob.cl>.

Fuentes de datos de especies presentes en Chile en GBIF

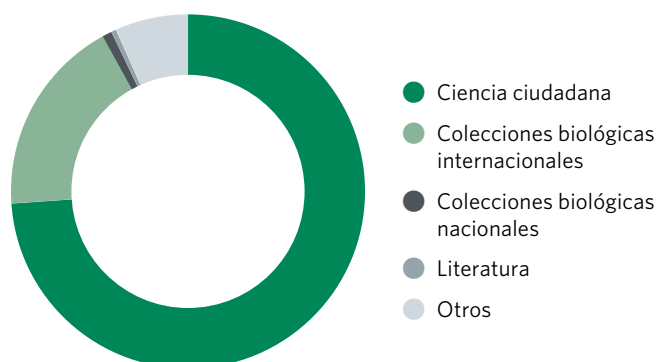


Figura 2. Datos de biodiversidad de Chile disponibles hoy en la base global GBIF según fuente de origen.

Número de registros basados en especímenes preservados en colecciones biológicas según país

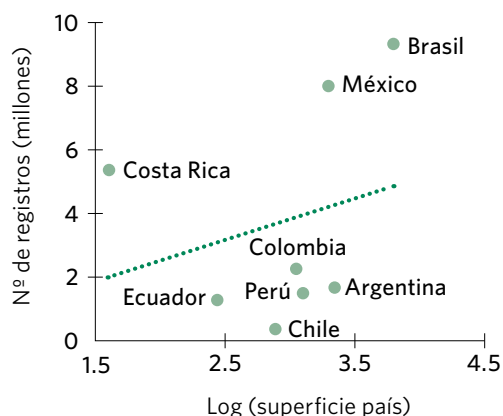


Figura 3. Registros de especímenes preservados en colecciones biológicas según país.

El análisis de los datos disponibles en GBIF muestra que hay un claro sesgo taxonómico en la colección de datos (figura 4), con esfuerzos de muestreo muy heterogéneos en todo el país (figura 5). Estos sesgos se explican, en parte, porque la mayoría de la información de biodiversidad generada en Chile responde a las motivaciones de los investigadores que la obtienen. Esta situación refuerza la necesidad de identificar los vacíos de conocimiento y orientar la obtención de datos de biodiversidad en función de las estrategias nacionales para su protección.

A nivel de ecosistemas, destaca la implementación del Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales (SIMEF)³³ por el Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile, el cual incluye los aspectos de ocurrencia y abundancia de especies de flora, vertebrados e invertebrados en bosques nativos y formaciones xerofíticas del país. Como parte de los esfuerzos de esta iniciativa, se contará con una plataforma de información de acceso público a fines de 2019 que debiera contribuir a comunicar los resultados sobre la biodiversidad de estos ecosistemas. Este es el primer inventario de biodiversidad terrestre de formaciones nativas, vertebrados e invertebrados a gran escala en Chile (muestreo sistemático de malla irregular de 5 x 7 km). El diseño comprende el levantamiento de datos a través de distintos métodos de recolección y destaca por

33 Sitio web del Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales, disponible en <https://simef.minagri.gob.cl/>.

Distribución espacial del número de registros presentes en Global Biodiversity Information Facility (GBIF)

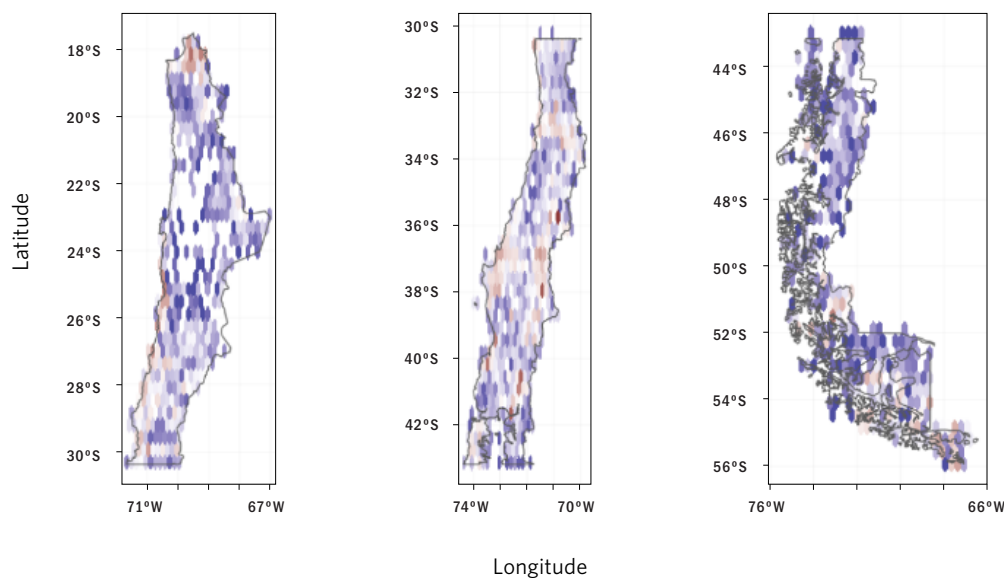


Figura 4. Distribución espacial del número de registros presentes en Chile.

Representatividad de algunos grupos taxonómicos en GBIF

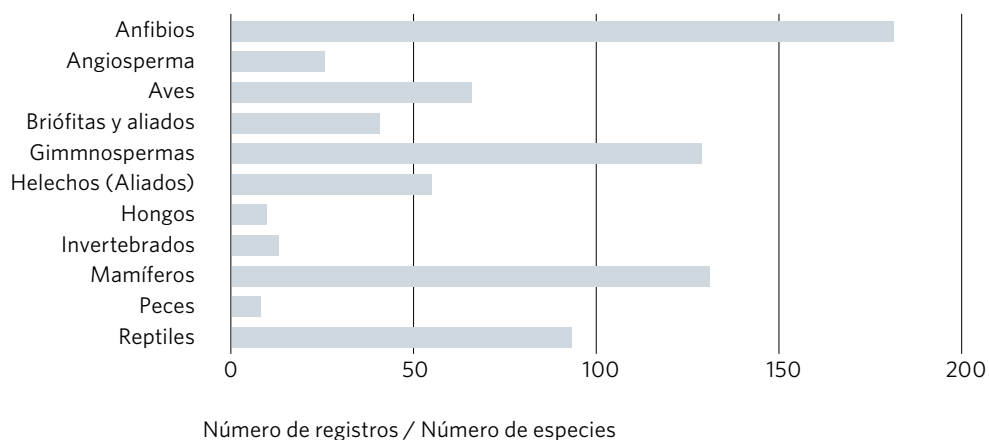


Figura 5. Representatividad de algunos grupos taxonómicos en GBIF.



haber contribuido al descubrimiento de decenas de nuevas especies de artrópodos para el país. El objetivo es contar con información confiable y oportuna para el entendimiento de la biodiversidad, para así contribuir al diseño de políticas públicas y privadas que apunten a la conservación y uso sostenible de estos ecosistemas.

Existe además la Red Chilena de Investigación Socio-Ecológica a Largo Plazo (LTSER),³⁴ la cual reúne nueve sitios de investigación de largo plazo que cubren una parte importante del rango latitudinal de Chile. La iniciativa incluye el registro de variables sociales, biológicas y físicas, así como la generación de indicadores de tendencias climáticas y ambientales en diversos ecosistemas.

ESTÁNDARES PARA EL INTERCAMBIO DE DATOS DE BIODIVERSIDAD

El desarrollo de protocolos para promover una disseminación amplia y efectiva del conocimiento de la biodiversidad global hoy en día está liderado por la asociación sin fines de lucro Biodiversity Information Standards (TDWG).³⁵ Las principales acciones del TDWG se concentran en desarrollar, ratificar y promover estándares y guías para el registro e intercambio de datos de organismos vivos, y actuar como un foro para discutir todos los aspectos de la administración de información de biodiversidad a través de reuniones, discusiones en línea y publicaciones. La comunidad del TDWG está asociada en grupos de interés que desarrollan diferentes temas, como anotaciones (de especímenes), calidad de datos de biodiversidad, datos de interacciones biológicas, ciencia ciudadana, biodiversidad genómica, observaciones y especímenes, paleobiología, procesos, información de especies, conceptos y nombres taxonómicos, entre otros.³⁶ A su vez, el TDWG mantiene una serie de estándares ratificados,³⁷ entre los que destaca el Darwin Core (DwC),³⁸ que corresponde al estándar utilizado por GBIF para registrar y anotar sus datos. Darwin Core consiste en un glosario de términos destinado a facilitar el intercambio de información sobre la diversidad biológica mediante el suministro de identificadores, etiquetas y definiciones. Se basa principalmente en los taxones y su presencia en la naturaleza, documentada mediante observaciones, especímenes, muestras e información relacionada.

RECURSOS FÍSICOS PARA INDEPENDENCIA LOCAL FRENTE A DATA WAREHOUSES PRIVADAS

Dentro de las iniciativas locales de cómputo y almacenamiento de datos en biodiversidad existen iniciativas públicas y privadas. La principal iniciativa pública es el Laboratorio Nacional de Cómputo de Alto Rendimiento (NLHPC ECM-02),³⁹ proyecto del Programa de Investigación Asociativa (PIA) de Conicyt, que está formado por la Universidad de Chile como institución patrocinadora más 24 instituciones asociadas. El NLHPC consolida una infraestructura de cómputo de alto rendimiento, conectada vía redes de alta velocidad provistas por la Red Universitaria Nacional (REUNA) a un nodo de procesamiento central, el cual se aloja en el Centro de Modelamiento Matemático (CMM)⁴⁰ y cuenta con 5.236 núcleos (*cores*) y 266 Teraflops, con un total de 212 *terabytes* de almacenamiento. El NLHPC ha sido fundamental en el almacenamiento y cómputo para practicar ciencia de frontera en Chile y cálculos para hacer macroanálisis para la toma de decisiones, y posee convenios con instituciones gubernamentales como el Ministerio de Obras Públicas, el Ministerio de Bienes Nacionales, el Servicio Nacional de Pesca y el Servicio Agrícola y Ganadero. La principal iniciativa local privada es de Entel, que cuenta con un *data center* en Chile que comenzó su operación en junio del 2019. Esta infraestructura está orientada a los negocios en que operan bancos e industrias. Actualmente lidera la industria en Chile y América Latina.

En el ámbito internacional hay tres principales servicios de alojamiento en internet. Estos son servicios de computación en la nube que constan de un conjunto de aplicaciones, software y hardware para almacenamiento y cálculo en línea, dentro de los cuales destacamos los siguientes.

34 Sitio web de LTSER Chile, disponible en <https://www.ltser-chile.cl>.

35 Sitio web de Biodiversity Information Standards, disponible en <https://www.tdwg.org>.

36 «Community», Biodiversity Information Standards, <https://www.tdwg.org/community/>.

37 «Standards», Biodiversity Information Standards, <https://www.tdwg.org/standards/>.

38 «Darwin Core», Biodiversity Information Standards, <https://www.tdwg.org/standards/dwc/>.

39 Sitio web del National Laboratory for High Performance Computing Chile, disponible en <http://www.nlhpc.cl>.

40 Sitio web del Centro de Modelamiento Matemático de la Universidad de Chile, disponible en <http://www.cmm.uchile.cl>.



Amazon Web Services (AWS)

Es la plataforma en la nube más adoptada y completa en el mundo, que ofrece sobre 160 servicios distintos. Consta de más de un millón de clientes de todo tipo. En el sector público, los principales clientes provienen de Estados Unidos, entre los que destacan la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA), el Departamento de Seguridad Nacional (NSA) y el Centro para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC). Otros clientes internacionales son el Gobierno de Singapur, la Agencia Espacial Europea y el Ministerio de Justicia del Reino Unido, entre otros.

Google Cloud

Es una plataforma que reúne las aplicaciones web de Google que se ofrecen por separado. Es un espacio virtual que permite efectuar tareas en serie desde sus infraestructuras de cómputo. Sus principales clientes del sector público provienen también de Estados Unidos, dentro de los que se encuentran el Instituto Nacional de Salud (NIH) y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA).

Microsoft Azure

Es el servicio de computación en la nube y almacenamiento alojado en los servidores de Microsoft. Comenzó sus operaciones en el 2010 y sus principales clientes son el comercio y la industria privada.

Una de las brechas importantes para Chile es que actualmente su conexión hacia los servidores internacionales es una limitante. Esto complica la movilización de grandes volúmenes de información hacia los servidores externos. Sin embargo, desde abril del 2019, Google California está conectado a Valparaíso a través de un cable submarino privado denominado Curie. Independientemente de estas soluciones globales, un obstáculo que subsiste es la conectividad al interior de Chile y desde las unidades de investigación a REUNA, lo que requiere una gran inversión.



Observatorio para el monitoreo y análisis de la biodiversidad

Es vital para Chile poder hacer de manera permanente evaluaciones y seguimiento de largo plazo de variables que contribuyan a entender la biodiversidad en sus distintas dimensiones —desde su variabilidad genética, riqueza y abundancia de las especies, extensión de sus hábitat, funciones y rasgos, hasta la estructura de los ecosistemas— y generar capacidades predictivas gracias a este conocimiento. A partir de este monitoreo, es posible analizar el cambio espacial y temporal de la biodiversidad ante escenarios climáticos futuros, para de esta forma proveer antecedentes relevantes con el objetivo de sustentar la toma de decisiones que permitan proteger efectiva y oportunamente la biodiversidad del país y apoyar políticas públicas en ámbitos como la agricultura y la acuicultura —por ejemplo, mediante medidas adecuadas de mitigación y adaptación al cambio climático, así como la simulación del efecto de posibles medidas de mitigación—. Incluso es necesario generar sistemas de monitoreo de la biodiversidad que permitan dar cuenta del cambio climático, es decir, invertir la flecha lógica de razonamiento, a modo de complementar los estudios puramente físico-químicos que son los más recurrentes en uso, con la intención de tener una visión global del cambio climático que incluya las variaciones en la biodiversidad.

Este observatorio debe nutrirse de las tecnologías más modernas de modelamiento matemático-estadístico e informático y de capacidad de cálculo de alto rendimiento, de modo de utilizar la información disponible de la manera más óptima posible. El observatorio deberá estar formado por un grupo multidisciplinario de especialistas (percepción remota, informáticos, matemáticos, estadísticos y ecólogos, entre otros), a modo de maximizar el aporte de cada disciplina a una tarea en la que a nivel mundial aún hay muchas preguntas que no se pueden resolver simplemente desde el uso de herramientas desarrolladas por terceras personas por parte de especialistas temáticos. Por otro lado, dada la envergadura del problema de largo plazo, será necesario mandar y hacer alianzas estratégicas con centros de investigación nacionales y extranjeros a modo de mantener altos estándares de investigación y, desde este observatorio, ser un aporte en la comprensión de los fenómenos que relacionan biodiversidad y cambio climático.

En esta sección se discuten aspectos relevantes para el uso y análisis de la información de biodiversidad y se efectúan recomendaciones para la conformación de un observatorio nacional de biodiversidad.

OBSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

Por observación de la biodiversidad entendemos todos los mecanismos de generación, integración y análisis de datos que permiten dar cuenta de manera tanto estática (repertorios individuales y redes) como dinámica (cambios temporales, efectos del medio) de la biodiversidad. A continuación, describimos algunos tópicos modernos que creemos pertinentes para observar la biodiversidad.

Observación satelital de la biodiversidad

La obtención de información sistemática y de cobertura global desde plataformas satelitales o de observaciones de gran altura es clave en la evaluación y monitoreo de la biodiversidad (MMA, 2018). Permite cuantificar oportunamente cambios en variables relevantes (por ejemplo, extensión de ecosistemas, distribución de es-



pecies, cobertura de hojas y fenología, etcétera), la ubicación precisa y extensión de tales cambios y el momento y duración del cambio, o establecer relaciones más complejas con variables biológicas (en particular el océano y cambios en el plancton), lo que facilita la toma de decisiones de autoridades locales, nacionales y continentales. Como fue mencionado anteriormente, los esfuerzos de la comunidad científica de percepción remota para contribuir con el monitoreo de los objetivos de Aichi acordados en la Convención de Diversidad Biológica se han materializado en la definición de variables esenciales para la biodiversidad (EBV) (Jetz *et al.*, 2019), un estándar internacional coordinado por GEO BON del cual Chile es miembro activo. Los estándares de GEO BON incluyen todas las dimensiones de la biodiversidad (desde composición genética hasta estructura de ecosistemas) y se organizan en redes nacionales, regionales y continentales.⁴¹ De las 21 EBV candidatas, al menos diez pueden estimarse usando imágenes satelitales. Si bien los estándares de EBV en cuanto a frecuencia, tipo y método de medición y validación se encuentran aún en discusión, Chile debe prepararse para contar con los recursos humanos y tecnológicos para procesar el enorme flujo de datos satelitales existentes y futuros. A diferencia de las variables esenciales del clima, la biodiversidad, por su naturaleza local, no puede abordarse desde una perspectiva global y Chile deberá implementar un sistema nacional de EBV satelitales *ad hoc* para las especies, poblaciones y ecosistemas únicos de nuestro país.

Observatorio de campo para el catastro de especies, su abundancia y distribución

Así como los satélites constituyen un tipo de sensor crucial de percepción remota para el monitoreo y observación de la biodiversidad a gran escala, a nivel de especies existe una variedad de métodos automatizados o automatizables que permiten generar una gran cantidad de datos sin gran esfuerzo físico ni inversión. Un ejemplo virtuoso son las redes mundiales de trampas de tipo cámara (Steenweg *et al.*, 2017). Uno de los beneficios de estas redes es que la inversión para crearlas no es muy alta e incluso se pueden incorporar esfuerzos de ciencia ciudadana. Las imágenes obtenidas por estas redes pueden ser analizadas, entre otras herramientas algorítmicas, por métodos de inteligencia artificial adaptados al reconocimiento de especies. Hoy en día existen métodos desarrollados en software abiertos que clasifican del orden de 2.000 imágenes por minuto con una certeza del 98% para imágenes obtenidas en una zona donde se entrenó el modelo (Tabak *et al.*, 2019). Dado el éxito de estas técnicas, se han generado estándares para unificar estas investigaciones (Foster *et al.*, 2016). Lo mismo puede ser aplicado para el monitoreo acústico de especies, tanto terrestres como en ambientes acuáticos (Gibb *et al.*, 2019). Otra red internacional de campo son las PhenoCams, que complementan las mediciones fenológicas satelitales (Gibb *et al.*, 2019). Se ha propuesto —y es una realidad que se potencia con la mejora de algoritmos matemáticos que interpretan los sensores— que una red de esta naturaleza podría monitorear en tiempo real la presencia, densidad poblacional y migración de especies de forma automatizada.

Observatorio permanente de la dinámica de ecosistemas

Es vital no solo poder caracterizar los ecosistemas en un punto en el tiempo, sino que también en un set de unidades permanentes monitorear sus cambios. Para esto, es fundamental establecer una red de monitoreo permanente de ecosistemas representativos, que sea independiente de esfuerzos privados y de organizaciones gubernamentales y que, al ser parte de esta iniciativa de observatorio, permita ir validando proyecciones de los modelos a construir, así como también ofrecer la medición de variables en terreno, que se podría ocupar incluso para ir testeando nuevas formas futuras de monitoreo.

Observación de la genética y genómica de la biodiversidad

La riqueza de la biodiversidad en Chile se distribuye en una geografía que ha producido que los organismos que ahí habitan se hayan adaptado a condiciones muchas veces muy extremas, como los desiertos más secos del planeta, alturas con poco oxígeno y hielos eternos. En contraste, una parte importante de nuestra diversidad habita en valles muy fértiles, un mar con gradientes de temperatura que producen gran riqueza y biodiversidad en sus costas y curiosidades naturales que hacen de nuestra biodiversidad un laboratorio natural para entender el cambio climático desde su biología. Si bien Chile entró de manera temprana a la llamada era genómica, secuenciando muchos organismos ligados al sistema productivo agrícola, biominero y acuícola,

41 «What are EBVs?», GEO BON, <https://geobon.org/ebvs/what-are-ebvs/>.



más allá de muchas iniciativas aisladas en proyectos individuales o centros de excelencia, el país se ha ido quedando atrás en la sistematización del descubrimiento de las bases genéticas de la biodiversidad chilena, y no hemos generado un catastro de genomas propios de nuestra biodiversidad, desde los eucariontes más complejos hasta comunidades de microorganismos que trabajan juntos en distintos nichos ecológicos relevantes. Estos últimos podrían representar hoy —hay bases importantes en la investigación moderna— sensores naturales del cambio climático (Carradec *et al.*, 2018; Gaüzère, 2018; Guidi *et al.*, 2016). En efecto, los microorganismos apoyan la existencia de todas las formas de vida tróficas superiores. Para comprender cómo los humanos y otras formas de vida en la Tierra pueden resistir el cambio climático antropogénico, es vital incorporar el conocimiento del mundo microbiano (Cavicchioli *et al.*, 2019). Hay gran consenso del papel central y la importancia global de los microorganismos en la biología del cambio climático.

Por otro lado, desde el punto de vista funcional, el impacto del cambio climático dependerá en gran medida de las respuestas de los microorganismos, que son esenciales para lograr un futuro ambientalmente sostenible. Así, un observatorio de biodiversidad que sea un aporte al entendimiento del cambio climático no puede abstraerse de la genómica o genética de sus organismos. La era genómica, que ya cumple casi veinte años desde la secuenciación del genoma humano, está madura y cuenta con tecnologías que la hacen viable a precios razonables. Por otro lado, en Chile se ha generado una comunidad de científicos inserta en el mundo en estos temas que son capaces de abordar proyectos en la era genómica moderna, desde la generación de algoritmos de ensamble de genomas hasta el análisis de sus resultados, con una perspectiva sistémica e integrativa de los organismos o comunidades de organismos estudiadas. Es decir, hoy somos capaces de extraer información relevante que ligue genómica con fenotipo y su ambiente, y más aún, sumar esta información a mediciones del medio ambiente o sensores remotos.

Para asumir este desafío, cinco centros de excelencia chilenos han planteado el programa 1.000 Genomas Chile, que pretende coordinar y generar los estándares genómicos modernos necesarios para secuenciar la biodiversidad chilena desde comunidades de microorganismos hasta eucariontes.⁴² Su financiamiento a mediano y corto plazo depende del interés de autoridades y particulares en sumarse al proyecto. Para avanzar de manera coordinada a nivel internacional, este proyecto se ha hecho parte del Earth Biogenome Project (EBP),⁴³ programa global que luego de veinte años de la secuenciación del genoma humano quiere secuenciar el ADN de toda la vida eucarionte en la Tierra durante los próximos diez años, con el fin, entre otros, de proteger la biodiversidad y la comprensión de los ecosistemas. Este proyecto parte de la convicción de que los grandes avances en las tecnologías de secuenciación de genomas, de la informática y de la matemática ligada a la inteligencia artificial nos posicionan en un nuevo paradigma para comprender, utilizar y conservar la biodiversidad. Hoy es posible secuenciar eficientemente los genomas de todas las especies conocidas y utilizar la genómica para ayudar a descubrir el 80% a 90% restante. Durante los tres primeros años de su fase 1, se quieren crear conjuntos de referencia a escala cromosómica y anotados funcionalmente para al menos una especie representativa de cada una de las 9.000 familias taxonómicas de eucariontes. En las fases 2 y 3 se usará la información de la primera fase para la reconstrucción *in silico* de genomas ancestrales y rescatar especies en extinción.

Recomendamos que un observatorio de biodiversidad chileno se articule con el proyecto 1.000 Genomas Chile y su colaboración internacional a modo de centralizar la información e integrarla a los otros aspectos del observatorio, para generar así la observación más completa y rica de nuestra biodiversidad, que otorgue solidez a las predicciones y tomas de decisiones hacia el futuro.

Modelación y métodos matemáticos para al análisis de los datos de biodiversidad

El fin último de un observatorio de la biodiversidad es poder generar una abstracción del o los sistemas complejos en que ella está inserta, para así analizar el efecto de las variables que la definen y su evolución temporal en distintos escenarios. De esta forma es posible evaluar, por ejemplo y entre muchos aspectos, el impacto que tienen ciertas variables climáticas (como precipitación o temperatura) en la evolución de una variable de interés como la biodiversidad de un ecosistema. También se puede pensar que los cambios en la observación de la biodiversidad pueden servir de herramienta para ilustrar modificaciones en el clima o las distintas bombas físico-químicas que rigen el movimiento de carbono u oxígeno en nuestro planeta. Este nivel de abstracción e integración ya ha sido planteado para los océanos por la Federación de Investigación GO-SEE

42 Sitio web de 1.000 Genomas, disponible en <https://www.100ogenomas.cl>.

43 Sitio web de Earth BioGenome Project, disponible en <https://www.earthbiogenome.org>.



(Global Ocean Systems Ecology and Evolution) del Centre Nationale de la Recherche Scientifique (CNRS) del Gobierno de Francia, en la que participan más de veinte instituciones académicas en el mundo, y en que el país es representado por la Universidad de Chile. Este es un ejemplo de la ambición que se puede tener hoy día para generar un monitoreo y observatorio moderno del cambio climático y sus efectos en la biodiversidad, y viceversa.

La observación de la biodiversidad requiere, entonces, tanto del desarrollo de modelos como de la implementación de métodos matemáticos sofisticados que permitan analizar e integrar de manera eficiente los datos de biodiversidad obtenidos desde los distintos sensores y fuentes antes descritas. Es claro que no basta con obtener señales desde sensores remotos. Muchas de estas señales simplemente no son interpretables sin la aplicación de métodos matemáticos desarrollados de manera *ad hoc* al fenómeno en estudio y el conocimiento de la tecnología usada por los sensores. Hoy, cuando la teoría es escasa dada la capacidad de cálculo, se usan una variedad de métodos ciegos provenientes de la inteligencia artificial o el aprendizaje de máquinas, y cuando hay más conocimiento del fenómeno biológico-físico o los sensores utilizados, es común modelar con técnicas matemáticas más modernas y a veces sofisticadas de problemas inversos, teoría de juego o probabilistas. Los métodos ciegos buscarán determinar, de la mejor manera posible, una salida confiable de un proceso, sin ser una limitante el conocimiento del fenómeno en detalle. Los segundos, basados realmente en modelamiento matemático, permiten pensar en tener poder predictivo de fenómenos complejos basados en propiedades propias del fenómeno que ellos determinan. Existen múltiples ejemplos en la literatura de esto último y, lo más importante, hay una investigación activa en la comunidad matemática para generar leyes de comportamiento universales que den cuenta de la variedad de fenómenos que aparecen al estudiar la biodiversidad. Algunos ejemplos conocidos entre muchos estudios incluyen: i) el modelamiento basado en principios fisiológicos (a veces a nivel celular) del efecto de variaciones climáticas en la fotosíntesis de árboles que crecen en bosques (Mäkelä, 1986); ii) modelación de la composición y evolución de la biodiversidad (Guisan, Thuiller y Zimmermann, 2017; Marquet *et al.*, 2017); y iii) estudio de leyes KPZ como leyes universales que dan cuenta de múltiples fenómenos biológicos y ecológicos de manera probabilista (Matetski, Quastel y Remenik, 2016).

Un componente relevante en la construcción de modelos con aplicación en biodiversidad tiene relación con la incorporación de la incertidumbre. Esta incertidumbre proviene no tan solo desde las estimaciones que los modelos pueden producir, sino que de las fuentes de datos empleadas. Por otro lado, es un hecho de la causa que muchos de los procesos biológicos ligados a la biodiversidad deben seguir leyes universales, pero los parámetros de dichas leyes pueden ser altamente difíciles de estimar. Dado que en biodiversidad la estructura jerárquica es marcada, es decir, existen variables medidas a diferentes niveles de dicha estructura, se producen variadas fuentes de incertidumbre. En problemas ecológicos y del medio ambiente es claro y fácil de evidenciar que existe un componente estocástico que es clave poder incorporar también en la construcción de los modelos (Dennis *et al.*, 2003). Esto último exige que la incertidumbre sea un componente explícito en todo modelo en biodiversidad. En este sentido, la modelación estadística y probabilista es clave para proveer las bases teóricas necesarias para incorporar apropiadamente la incertidumbre en la estimación de los parámetros de los diferentes modelos a desarrollar, así como también en el contexto de la predicción.

Dentro de los modelos estadísticos más ampliamente usados en aplicaciones de biodiversidad se pueden encontrar desde modelos de variables binarias para predecir probabilidad de ocurrencia de un fenómeno (Salas-Eljatib *et al.*, 2018), modelos bayesianos que incorporan distribución de los parámetros en modelos de productividad (Foster *et al.*, 2016), modelos de regresión de cuantiles para densidades máximas en poblaciones de árboles sujetas a cambio climático, hasta modelos no lineales de efectos mixtos para el crecimiento de árboles (Salas-Eljatib, Stage y Robinson, 2008; Salas-Eljatib y Weiskittel, 2018). Por otro lado, estudios teóricos han mostrado algunas de las leyes universales subyacentes a la biodiversidad y su dinámica (Marquet *et al.*, 2017). Hoy en día, dado el poder de cálculo y avances en teorías matemáticas subyacentes a los fenómenos de biodiversidad, es necesario transitar hacia métodos predictivos. Esto requiere formar grupos multidisciplinarios en que la acción de cada especialista logre su máximo valor agregado, y no se estancan los estudios o el observatorio de la biodiversidad en las técnicas particulares de uno u otro especialista o disciplina dominante. Esto debiera potenciar los estudios de biodiversidad en Chile.

Finalmente, una de las preguntas importantes en la actualidad para entender la biodiversidad tiene que ver con la caracterización y cuantificación de las interacciones ecológicas, es decir, redes de interacción y distribución de especies que evolucionan en el tiempo y se configuran siguiendo alguna ley funcional (González-Salazar, Stephens y Marquet, 2013; Jetz *et al.*, 2019; Kissling *et al.*, 2018; McGrady-Steed, Harris y Morin, 1997). Desde una perspectiva funcional, lo más importante es entender por qué un grupo de organismos está junto, qué rol tiene y cómo evoluciona con las variaciones de su medio ambiente. Dada la robustez de los



sistemas biológicos en general, el estudio de las redes de interacción presentes en nuestra biodiversidad debe enfocarse también en la búsqueda de los umbrales del cambio (climático, entre otros) que hacen inviable la funcionalidad de dichas redes o comunidades, y por ende la destrucción de la biodiversidad. Es de particular importancia —y realista— para entender la relación del cambio climático y la biodiversidad, entender estas preguntas en el caso de comunidades de microorganismos. Desde la perspectiva de un observatorio de la diversidad, será muy relevante contar con herramientas que permitan, a partir de los datos que este maneje, establecer redes de interacción y su evolución temporal a modo de ganar en grados de predictibilidad.

UN OBSERVATORIO NACIONAL DE BIODIVERSIDAD

La complejidad geográfica y la gran diversidad de climas y de ecosistemas de Chile justifican cabalmente la implementación de un observatorio nacional de biodiversidad, cuyos objetivos fundamentales sean monitorear el estado de la biodiversidad y reportarlo a instancias locales, nacionales e internacionales (según el Convenio sobre la Diversidad Biológica) y predecir escenarios futuros para la biodiversidad en un marco de cambio climático. Ejemplos de observatorios nacionales de biodiversidad en pleno desarrollo se encuentran en Colombia⁴⁴ y China,⁴⁵ donde se han acogido al marco de GEO-BON. En ambos casos existe financiamiento nacional e internacional para su implementación, y aunque los directores y contribuidores de datos provienen principalmente de universidades, centros de investigación y servicios públicos, la red nacional es últimamente coordinada y financiada por el Estado. Las distintas fases de implementación requieren un compromiso formal y permanente entre las partes con responsables, objetivos, plazos, entregas y financiamiento claros. Tal observatorio nacional deberá reconocer el valor de otros esfuerzos locales y temáticos de biodiversidad (bancos de germoplasma, colecciones botánicas, de animales y hongos, datos satelitales, datos genómicos y de variables abióticas). No obstante, deberá definir y enfocarse en variables esenciales a monitorear y predecir con indicadores claros, sistemáticos, científicamente robustos, y con estándares y contrapartes internacionales que contribuyan al fin último de proteger la biodiversidad mundial y ganar poder de predicción a nivel local.

44 «Colombia BON», GEO BON, <https://geobon.org/bons/national-regional-bon/national-bon/colombia-bon/>.

45 «China BON», GEO BON, <https://geobon.org/bons/national-regional-bon/national-bon/china-bon/>.

Recomendaciones de políticas públicas

Si bien países como Estados Unidos y países miembros de la Unión Europea están avanzando hacia políticas centralizadas para el tratamiento de los datos de la biodiversidad, el Estado de Chile no ha logrado afianzar, en la práctica, una política eficaz en este sentido. Los antecedentes expuestos aquí muestran claramente la urgente necesidad y oportunidad que representa avanzar hacia una política nacional efectiva relativa a datos de biodiversidad.

Tal política supone que el Estado, dentro de su jurisdicción, debe poseer y tener potestad sobre un catálogo estable y completo de todas las especies presentes en el territorio nacional y de otras bases de datos que sean necesarias para accionar de manera eficiente frente al cambio climático. Dicha política supone, además, la creación de un marco de acción dotado de instrumentos (es decir, políticas e infraestructura crítica) que fomente activamente la mejora continua de dicho catálogo, su interacción con otras bases de datos, su modernización en función de las tecnologías existentes que permitan darle valor a los datos de biodiversidad (genómica, medio ambiente), así como el intercambio y la reutilización de los datos de biodiversidad. Hoy, parte de las acciones que supone una política nacional de datos de biodiversidad están contempladas en la Ley 19.300, artículo 70, incisos j) y k) de las funciones que competen al Ministerio del Medio Ambiente. Sin embargo, hasta hoy el catálogo nacional de especies, especímenes y datos no goza de centralización, articulación entre las diferentes partes del Estado ni un presupuesto actualizado para la generación de nuevos datos, recopilación o sistematización ni validación de estos, para así formar un conjunto denominado «datos de biodiversidad» que permita capitalizar esta información por parte del Estado chileno. Más aún, los datos existentes son de naturaleza estática y resulta difícil hacerlos útiles para tareas predictivas.

Una política nacional de datos de la biodiversidad, además de los considerandos generales descritos en cada uno de los capítulos anteriores, deberá contemplar al menos los siguientes aspectos descritos en los puntos que siguen.

PERTENENCIA, INDEPENDENCIA Y POTESTAD DE LOS DATOS DE LA BIODIVERSIDAD CHILENA

La pertenencia de los datos se refiere a que los datos de biodiversidad se encuentren bajo la circunscripción y sean de propiedad del Estado, y que estén a disposición de los actores que este indique. La independencia se refiere a que el Estado pueda mantener, gestionar, sistematizar y disponer de tales datos según lo señale, sin depender de terceros. La potestad sobre los datos de la biodiversidad se refiere al poder o autoridad que debe tener el Estado sobre los datos de la biodiversidad. Actualmente, el Estado chileno no posee plenas facultades sobre los datos de la biodiversidad chilena. No obstante, a pesar de estar claramente especificado en la Ley 19.300, artículo 70, incisos j) y k) mencionados más arriba, hasta la fecha no existe en Chile un observatorio o repositorio estable de datos con una infraestructura crítica propia que pueda mantener, gestionar, sistematizar y disponer de los datos de biodiversidad. Los datos digitales existentes sobre la biodiversidad chilena se hallan, en buena parte, desagregados y en repositorios extranjeros públicos o privados. Algunas excepciones fueron descritas en el segundo capítulo de este informe. En otras palabras, de momento, la elaboración de instrumentos para la gobernanza y la elaboración de políticas públicas basadas en evidencia proveniente del



análisis de una o más bases de datos o de datos masivos se halla en gran medida sujeta a la disponibilidad que gobiernos extranjeros, redes intergubernamentales o privados extranjeros tengan de conservar tales repositorios de datos, así como de mantener el acceso abierto a los mismos. Por otro lado, esta falta de pertenencia y potestad sobre datos de biodiversidad es una debilidad de nuestro país al sentarse en foros internacionales a discutir estos temas. Un ejemplo emergente es la discusión internacional sobre los datos de la biodiversidad en los océanos.

ACTORES RELEVANTES

Se deberá determinar quiénes son los actores relevantes para la gobernanza, toma de decisiones y manejo sobre los datos de la biodiversidad. Entre los actores relevantes destacan los responsables de generar y ejecutar políticas públicas, investigadores, académicos y la ciencia ciudadana, entre otros. Los actores deberán cumplir roles específicos dentro del marco que se proponga.

SENSIBILIDAD Y PROTECCIÓN

La sensibilidad de un dato se refiere al nivel de confidencialidad que este dato merece. La clasificación de datos ayuda a categorizar y registrar su confidencialidad. Las categorías de confidencialidad de datos pueden, luego ser utilizadas, guiar decisiones sobre su acceso, uso, intercambio, creación de reportes y seguimiento.

Determinación de la sensibilidad de los datos

Un organismo, comité o mesa de trabajo integrada por los actores relevantes deberá ser designada por el Estado con el fin de generar protocolos, según estándares internacionales, para la toma de decisiones sobre la sensibilidad de un dato de biodiversidad generado por las diversas entidades participantes antes de ser incorporado al catálogo estable. Ya existen ejemplos de tales protocolos en Estados Unidos y la Comunidad Europea (Convenio de Aarhus).⁴⁶

Datos abiertos y accesibilidad

Los datos abiertos son aquellos datos no confidenciales que ayudan a la generación de conocimiento y evidencia para la toma de decisiones. Tales datos requieren la generación de una infraestructura (véase el apartado «Generación de infraestructura y servicios») para su tratamiento, capitalización (véase apartado «Capitalización de la información de los datos de la biodiversidad») y movilización bajo los protocolos que se establecen (véase apartado «Generación de protocolos para el intercambio de datos»).

Datos sensibles y la generación de infraestructura para su protección

Los datos considerados como sensibles o confidenciales debieran estar resguardados del acceso público. Por ejemplo, es factible incorporar la causal de reserva referida a datos sensibles de biodiversidad en la Ley 20.285 sobre Transparencia y Acceso Público. No obstante, deberá existir una infraestructura física o digital que proteja, mantenga y monitoree tales datos para que estén disponibles en cualquier momento que el Estado requiera para la toma de decisiones basadas en evidencia frente al cambio climático.

46 «Convención sobre el Acceso a la Información, la Participación del Público en la Toma de Decisiones y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales», United Nations Economic Commission for Europe, ECE/CEP/INFORMAL/1999/1, <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/pp/documents/cep43s.pdf>.



CAPITALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LOS DATOS DE LA BIODIVERSIDAD

Capitalización se refiere a poder llevar a cabo funciones y tareas que permitan al Estado, en cualquier momento, tomar las medidas necesarias, basadas en evidencia, frente a un cambio en un escenario incierto como es el cambio climático. Tales funciones y tareas se refieren a:

- › Generar nuevos datos con estándares internacionales.
- › Incorporar datos de otras colecciones y portales para centralizar y agregar la información que se genera localmente por necesidades locales o específicas.
- › Digitalizar información de datos de colecciones de biodiversidad ya existentes para generar información accesible digitalmente. Ejemplos son el Programa de Regulación Ambiental 2018-2019 del MMA, la Prioridad Programática en Biodiversidad y el Programa de Fortalecimiento de Colecciones Biológicas.⁴⁷
- › Estrategia Nacional de Biodiversidad, ámbito temático: Conservación de especies nativas, meta 3.1 (MMA, 2018).

Para ello, se requerirá generar los protocolos pertinentes:

- › Integrar datos o bases de datos para mejorar la calidad de la información sobre la biodiversidad y facilitar el acceso global.
- › Mantener y curar los datos con estándares internacionales y a largo plazo, así como asegurar y mantener la interoperabilidad de las bases de datos a lo largo del tiempo.
- › Proteger los datos que así lo requieran, según la disposición de los actores u organismos designados (véase el apartado «Sensibilidad y protección» en este capítulo).
- › Generar protocolos de trazabilidad de los datos que permitan el seguimiento digital de los datos de libre acceso nacionales.
- › Compartir los datos por canales seguros según protocolos que deberán establecerse según sea la naturaleza del solicitante y del dato (véanse los apartados «Generación de protocolos para el intercambio de datos» y «Sensibilidad y protección»).
- › Compartir los datos en plataformas internacionales según los protocolos establecidos para contribuir al esfuerzo internacional de generar bases de datos primarios de biodiversidad (*primary biodiversity data records*). Algunos mecanismos y antecedentes son la Ley 19.300, artículo 70, literal d), «velar por el cumplimiento de las convenciones internacionales en que Chile sea parte en materia ambiental, y ejercer la calidad de contraparte administrativa, científica o técnica de tales convenciones, sin perjuicio de las facultades del Ministerio de Relaciones Exteriores»; y el GBIF Memorandum of Understanding.⁴⁸
- › Analizar volúmenes de datos según lo soliciten y requieran ministerios, agencias y otras dependencias del Estado para generar instrumentos necesarios para hacer frente al cambio climático.
- › Generar convenios estratégicos con centros de infraestructura crítica que permitan el almacenamiento y tratamiento de los datos de biodiversidad, como el National Laboratory for High Performance Computing (NLHPC), y que tengan la capacidad de incorporar las últimas tecnologías en herramientas de integración y análisis de datos de diversidad y su relación con el medio ambiente que los alberga en situaciones como el cambio climático.

GENERACIÓN DE INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS

Será necesario dotar a los actores relevantes que se designen de una infraestructura y capital humano con determinadas características, capacidades y facultades para la capitalización de la información. Se deben considerar acuerdos estratégicos o mandar a otras instituciones del Estado o instituciones privadas, como centros de excelencia, universidades, institutos de investigación y empresas especializadas, que permitan dar la velocidad que requiere la capitalización de la información, como el cálculo de alto rendimiento, la aplicación de técnicas modernas de análisis y la manipulación de grandes volúmenes de datos, entre otros.

47 «Aprueba Normas Mínimas Nacionales sobre Evaluación, Calificación y Promoción y Deroga los Decretos Exentos 511 de 1997, 112 de 1999 y 83 de 2001, Todos del Ministerio de Educación», Diario Oficial de la República de Chile, 31 de diciembre de 2018, <https://www.diariooficial.interior.gob.cl/publicaciones/2018/12/31/42242/01/1521939.pdf>.

48 «La red GBIF», Global Biodiversity Information Facility, <https://www.gbif.org/es/the-gbif-network>.



FINANCIAMIENTO

Para una ejecución garantizada de un plan para datos de biodiversidad, y en particular las tareas mencionadas en los apartados «Capitalización de la información de los datos de la biodiversidad» y «Generación de infraestructura y servicios», será necesaria una asignación presupuestaria estable y pertinente, de forma tal que el Estado pueda tener datos en cualquier momento y tomar medidas basadas en evidencia actualizada frente a cualquier cambio en un escenario incierto, como lo es el cambio climático. Por otra parte, será necesario continuar la investigación en el ámbito específico de la generación, integración y tratamiento de la información útil y relevante a la biodiversidad. Para esto, se propone el desarrollo de un programa amplio de fondos concursables que permita, por ejemplo, no solo acortar las brechas que aún existen entre las diferentes colecciones, catálogos y bases de datos existentes, sino también el desarrollo de tecnologías e innovación en la ciencia de datos para la biodiversidad u otras ciencias con impacto en el área de la biodiversidad y su relación con el medio ambiente. Esto significa el financiamiento efectivo del desarrollo de algoritmos, métodos y modelos de análisis del almacenamiento, privacidad e interconexión de tipos de datos en su proceso de generación de información relevante en escenarios de cambio climático, además de técnicas de cálculo de alto rendimiento para generar simulaciones de gran escala. Los fondos concursables deberían contener en sus bases el tratamiento que se le debe dar a los datos generados (véase a continuación el punto relativo a protocolos de intercambio entre servicios públicos o generados con fondos públicos).

GENERACIÓN DE PROTOCOLOS PARA EL INTERCAMBIO DE DATOS

Estos protocolos se refieren a la manera metódica bajo la cual se han de compartir y transferir los datos de la biodiversidad que podrán ser sujetos de diferentes niveles de confidencialidad, además de poseer limitaciones en su uso o finalidad. Para favorecer la generación de conocimiento, el agregado de los datos existentes y la toma de decisiones basadas en evidencia, se propone generar protocolos diferentes según sea la índole del solicitante:

- › Protocolos de intercambio entre servicios públicos o generados con fondos públicos.
- › Protocolos de intercambio entre públicos y privados, considerando el rol y naturaleza del privado solicitante.
- › Protocolos de intercambio con organismos internacionales.

TRATADOS INTERNACIONALES

Los tratados internacionales sobre las políticas, gobernanza y tratamiento de los datos de la biodiversidad apuntan a: i) favorecer la movilización de los datos de la biodiversidad —movilización se refiere a generar bases de datos masivas e internacionales, agregar bases de datos existentes, y promover el acceso y la interoperabilidad de bases de datos a nivel mundial—; ii) remover obstáculos legales para la movilización y capitalización de los datos de la biodiversidad; y iii) cambiar paradigmas de los Estados y la ciudadanía frente a los datos de la biodiversidad.

Actualmente, Chile es firmante de varios tratados internacionales sobre la materia. Como signatario del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), el país podría avanzar hacia el cumplimiento de la meta 19 de Aichi, que señala:

Para 2020, se habrá avanzado en los conocimientos, la base científica y las tecnologías referidas a la diversidad biológica, sus valores y funcionamiento, su estado y tendencias, y las consecuencias de su pérdida, y tales conocimientos y tecnologías serán ampliamente compartidos, transferidos y aplicados.

Asimismo, y como país miembro de OCDE, la Evaluación de Desempeño Ambiental de Chile señala que en la última década se ha avanzado en la generación de conocimiento sobre diversidad biológica y las presiones de las que es objeto, se han evaluado los ecosistemas terrestres y registrado humedales y áreas protegidas, entre otros logros. Sin embargo, siguen existiendo vacíos de información sobre el estado de conservación de especies y ecosistemas, y del valor de la diversidad biológica. Chile también es signatario de GBIF, por lo que se compromete a dar acceso a la información de biodiversidad de que disponga el país a través del uso de es-



tándares internacionales. Los tratados como el Acuerdo de Escazú⁴⁹ y el Protocolo de Nagoya⁵⁰ favorecen el acceso, la capitalización y protección internacional de los datos de la biodiversidad promoviendo entre los firmantes mejores políticas, toma de decisiones y justicia frente al cambio climático. Debido a que actualmente Chile no es firmante de estos dos últimos tratados, recomendamos se discuta al más alto nivel el firmarlos.

POLÍTICA OCEÁNICA NACIONAL

Chile se encuentra comprometido con la protección, conservación y uso sostenible de la biodiversidad marina. A su vez, reconoce al cambio climático como una realidad a nivel nacional e internacional, por lo que considera oportuno desarrollar acciones concretas de mitigación, vía la reducción o captación de emisiones de efecto invernadero y la adaptación a los efectos que este proceso produce. En función de lo anterior se promulgó, en marzo de 2018, la Política Oceánica Nacional (PON) (Decreto 74 del Ministerio de Relaciones Exteriores). Esta política tiene por objetivo armonizar y dar coherencia a las materias oceánicas generales y específicas catalizando la acción del Estado, en coordinación con la comunidad y el sector privado, y apunta a dar cumplimiento, hacia el año 2030, al Objetivo de Desarrollo Sustentable número 14 y a los demás objetivos directamente vinculados al mismo. Se apunta a contar con un océano saludable impulsando una política de protección y conservación de la biodiversidad que alberga. Se le reconoce como un benefactor en lo económico, que debiera permitir actividades seguras, formativas y académicas en lo social, inspirador en lo cultural y predecible tanto en sus fenómenos naturales como antropogénicos.

En su objetivo de conservación de la biodiversidad marina, la PON se enmarca en la Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030, cuyo ámbito marino contempla objetivos, actividades y metas dirigidas: i) al uso sustentable de la biodiversidad marina para el bienestar humano; ii) al desarrollo de la conciencia, la participación, la información y el conocimiento sobre la biodiversidad marina como base del bienestar de la población; iii) el desarrollo de una institucionalidad robusta, buena gobernanza, y distribución justa y equitativa de los beneficios de la biodiversidad; iv) a insertar objetivos de biodiversidad en políticas, planes y programas de los sectores públicos y privados; y v) tanto a proteger como a restaurar la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos.

Se recomienda que la PON tenga un enfoque integrado, lo que implica que las políticas sectoriales deberán ser subsidiarias de sus principios y normas, es decir, que los objetivos, programas y medidas (políticas) para la gestión del medio marino y sus recursos se elaboren de tal manera que los diferentes objetivos, programas y medidas sean coherentes entre sí en los distintos sectores.

En vista de la urgencia causada por el cambio climático, recomendamos que se dé valor particular al desarrollo de capacidades y de transferencia de tecnología en temas de biodiversidad marina y estudio de los océanos, y que se promueva fuertemente la cooperación con el propósito de compartir de manera justa y equitativa los datos de biodiversidad marinos, en particular genéticos, satelitales y de condiciones de medio ambiente. A partir de estas acciones se recomienda el desarrollo de un plan ambicioso de monitoreo del océano que involucre todas las capas de integración y análisis de datos discutida en este texto, y permita desde el monitoreo del océano generar índices de su salud, pero a la vez entender consecuencias del cambio climático y sus proyecciones. Por otra parte, esta será una contribución real de Chile al entendimiento en tiempo real del estado del patrimonio común de la humanidad en los océanos. El Estado de Chile debería hacerse parte de los esfuerzos de la comunidad internacional para salvaguardar la biodiversidad marina a través de un acuerdo ambicioso, integral, inclusivo, justo y equitativo para la alta mar, que representa la mitad de nuestro planeta azul, lo que determinará en parte la posibilidad de nuestro futuro en la Tierra.

49 «Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe», Naciones Unidas, <https://www.cepal.org/es/acuerdodeescazu>.

50 «Protocolo de Nagoya sobre Acceso a los Recursos Genéticos y Participación Justa y Equitativa en los Beneficios que se Deriven de su Utilización al Convenio sobre la Diversidad Biológica», Naciones Unidas, <https://www.cbd.int/abs/doc/protocol/nagoya-protocol-es.pdf>.



REFERENCIAS

- Armesto, J. J., D. Manuschevich, A. Mora, C. Smith-Ramírez, R. Rozzi, A. M. Abarzúa y P. A. Marquet (2010). «From the Holocene to the Anthropocene: A historical framework for land cover change in southwestern South America in the past 15,000 years». *Land Use Policy* 27(2): 148-160. doi: 10.1016/j.landusepol.2009.07.006.
- Bendix, J., J. Nieschulze y W. K. Michener (2012). «Data Platforms in Integrative Biodiversity Research». *Ecological Informatics* 11: 1-4. doi: 10.1016/j.ecoinf.2012.04.001.
- Bruehlheide, H., J. Dengler, O. Purschke et al. (2018). «Global Trait: Environment Relationships of Plant Communities». *Nature Ecology & Evolution* 2(12): 1.906-1.917. doi: 10.1038/s41559-018-0699-8.
- Carradec, Q., E. Pelletier, C. Da Silva et al. (2018). «A Global Ocean Atlas of Eukaryotic Genes». *Nature Communications* 9(1). doi: 10.1038/s41467-017-02342-1.
- Castillo, A. G., D. Alò, B. A. González y H. Samaniego (2018). «Change of Niche in Guanaco (*Lama guanicoe*): The Effects of Climate Change on Habitat Suitability and Lineage Conservatism in Chile». *PeerJ* 6, e4907. doi: 10.7717/peerj.4907.
- Cavicchioli, R., W. J. Ripple, K. N. Timmis et al. (2019). «Scientists' Warning to Humanity: Microorganisms and Climate Change». *Nature Reviews Microbiology* 17(9): 569-586. doi: 10.1038/s41579-019-0222-5.
- Chase, M. W., N. S. Salamin, M. Wilkinson, J. M. Dunwell, R. P. Kesanakurthi, N. Haidar y V. Savolainen (2005). «Land Plants and DNA Barcodes: Short-term and Long-term goals». *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 360(1.462): 1.889-1.895. doi: 10.1098/rstb.2005.1720.
- Collins, S. L., L. Bettencourt, A. Hagberg et al. (2006). «New Opportunities in Ecological Sensing Using Wireless Sensor Networks». *Frontiers in Ecology and the Environment* 4(8): 402-407. doi: 10.1890/1540-9295(2006)4[402:NOIESU]2.0.CO;2.
- Côté, I. M. y E. S. Darling (2010). «Rethinking Ecosystem Resilience in the Face of Climate Change». *PLOS Biology* 8(7), e1000438. doi: 10.1371/journal.pbio.1000438.
- Cushman, S. A. y F. Huettmann (editores) (2010). *Spatial Complexity, Informatics, and Wildlife Conservation*. Tokio: Springer. doi: 10.1007/978-4-431-87771-4.
- Dennis, B., R. A. Desharnais, J. M. Cushing, S. M. Henson y R. F. Costantino (2003). «Can Noise Induce Chaos?». *Oikos* 102(2): 329-339. doi: 10.1034/j.1600-0706.2003.12387.x.
- Elith, J. y J. R. Leathwick (2009). «Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time». *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 40(1): 677-697. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159.
- Foster, J. R., A. O. Finley, A. W. D'Amato, J. B. Bradford y S. Banerjee (2016). «Predicting Tree Biomass Growth in the Temperate-boreal Ecotone: Is Tree Size, Age, Competition, or Climate Response Most Important?». *Global Change Biology* 22(6): 2.138-2.151. doi: 10.1111/gcb.13208.
- Franklin, J. (2009). *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Froese, R. y D. Pauly (2000). *FishBase 2000: Concepts Designs and Data Sources*. Vancouver: WorldFish.
- Gaüzère, P., L. Lønsmann Iversen, J. Barnagaud, J. Svenning y B. Blonder (2018). «Empirical Predictability of Community Responses to Climate Change». *Frontiers in Ecology and Evolution* 6, 186: 1-16. doi: 10.3389/fevo.2018.00186.
- Gibb, R., E. Browning, P. Glover-Kapfer y K. E. Jones (2019). «Emerging Opportunities and Challenges for Passive Acoustics in Ecological Assessment and Monitoring». *Methods in Ecology and Evolution* 10(2): 169-185. doi: 10.1111/2041-210X.13101.
- González-Salazar, C., C. R. Stephens y P. A. Marquet (2013). «Comparing the Relative Contributions of Biotic and Abiotic Factors as Mediators of Species' Distributions». *Ecological Modelling* 248: 57-70. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2012.10.007.
- Guidi, L., S. Chaffron, L. Bittner et al. (2016). «Plankton Networks Driving Carbon Export in the Oligotrophic Ocean». *Nature* 532: 465-470. doi: 10.1038/nature16942.
- Guisan, A., W. Thuiller y N. E. Zimmermann (2017). *Habitat Suitability and Distribution Models: With Applications in R*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hebert, P. D. N., A. Cywinska, S. L. Ball y J. R. deWaard (2003). «Biological Identifications Through DNA Barcodes». *Proceedings of the Royal Society of London: Biological Sciences* 270(1.512): 313-321. doi: 10.1098/rspb.2002.2218.
- Hinchliff, C. E., S. A. Smith, J. F. Allman et al. (2015). «Synthesis of Phylogeny and Taxonomy into a Comprehensive Tree of Life». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112(41): 12.764-12.769. doi: 10.1073/pnas.1423041112.
- Jetz, W., M. A. McGeoch, R. Guralnick et al. (2019). «Essential Biodiversity Variables for Mapping and Monitoring Species Populations». *Nature Ecology & Evolution* 3: 539-551. doi: 10.1038/s41559-019-0826-1.
- Kattge, J., S. Díaz, S. Lavorel et al. (2011). «TRY: A global Database of Plant Traits». *Global Change Biology* 17(9): 2.905-2.935. doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02451.x.
- Kearney, M. y W. Porter (2009). «Mechanistic Niche Modelling: Combining Physiological and Spatial Data to Predict Species' Ranges». *Ecology Letters* 12(4): 334-350. doi: 10.1111/j.1461-0248.2008.01277.x.
- Kissling, D., R. Walls, A. Bowser et al. (2018). «Towards Global Data Products of Essential Biodiversity Variables on Species Traits». *Nature Ecology & Evolution* 2(10): 1.531-1.540. doi: 10.1038/s41559-018-0667-3.

REFERENCIAS

- Lapp, H., R. A. Morris, T. Catapano, D. Hobern y N. Morrison (2011). «Organizing Our Knowledge of Biodiversity». *Bulletin of the American Society for Information Science and Technology* 37(4): 38-42. doi: 10.1002/bult.2011.1720370411.
- Mäkelä, A. (1986). «Implications of the Pipe Model Theory on Dry Matter Partitioning and Height Growth in Trees». *Journal of Theoretical Biology* 123(1): 103-120. doi: 10.1016/S0022-5193(86)80238-7.
- Malcolm, J. R., C. Liu, R. P. Neilson, L. Hansen y L. Hannah (2006). «Global Warming and Extinctions of Endemic Species from Biodiversity Hotspots». *Conservation Biology* 20(2): 538-548. doi: 10.1111/j.1523-1739.2006.00364.x.
- Marquet, P. A., G. Espinoza, S. R. Abades, A. Ganz y R. Rebolledo (2017). «On the Proportional Abundance of Species: Integrating Population Genetics and Community Ecology». *Scientific Reports* 7(1), 16.815. doi: 10.1038/s41598-017-17070-1.
- Matetski, K., J. Quastel y D. Remenik (2016). «The KPZ Fixed Point». ArXiv:1701.00018 [Math-Ph]. <http://arxiv.org/abs/1701.00018>.
- McGrady-Steed, J., P. M. Harris y P. J. Morin (1997). «Biodiversity Regulates Ecosystem Predictability». *Nature* 390: 162-165. doi: 10.1038/36561.
- Michener, W. K., J. H. Beach, M. B. Jones et al. (2007). «A Knowledge Environment for the Biodiversity and Ecological Sciences». *Journal of Intelligent Information Systems* 29(1): 111-126. doi: 10.1007/s10844-006-0034-8.
- Michener, W. K. y M. B. Jones (2012). «Ecoinformatics: Supporting Ecology as a Data-intensive Science». *Trends in Ecology & Evolution* 27(2): 85-93. doi: 10.1016/j.tree.2011.11.016.
- Millennium Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being*. Washington D.C.: Island Press.
- MMA, Ministerio del Medio Ambiente de Chile (2018). *Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030*. Santiago: Ministerio del Medio Ambiente. https://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/Estrategia_Nac_Biodiv_2017_30.pdf.
- Moritz, C. y C. Cicero (2004). «DNA Barcoding: Promise and Pitfalls». *PLoS Biology* 2(10), e354. doi: 10.1371/journal.pbio.0020354.
- Myers, N., R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. B. da Fonseca y J. Kent (2000). «Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities». *Nature* 403, 853-858. doi: 10.1038/35002501.
- Ohlemüller, R., B. J. Anderson, M. B. Araújo, S. H. M. Butchart, O. Kudrna, R. S. Ridgely, C. D. Thomas (2008). «The Coincidence of Climatic and Species Rarity: High risk to Small-range Species from Climate Change». *Biology Letters* 4(5): 568-572. doi: 10.1098/rsbl.2008.0097.
- Pereira, H. y H. D. Cooper (2006). «Towards the Global Monitoring of Biodiversity Change». *Trends in Ecology & Evolution* 21(3): 123-129. doi: 10.1016/j.tree.2005.10.015.
- Pereira, H. M., S. Ferrier, M. Walters et al. (2013). «Essential Biodiversity Variables». *Science* 339(6.117): 277-278. doi: 10.1126/science.1229931.
- Reiche, K. (1911). *Estudios críticos de la flora de Chile*. Santiago.
- Reichman, O. J., M. B. Jones y M. P. Schildhauer (2011). «Challenges and Opportunities of Open Data in Ecology». *Science* 331(6.018): 703-705. doi: 10.1126/science.1197962.
- Salas, C., A. R. Stage y A. P. Robinson (2008). «Modeling Effects of Overstory Density and Competing Vegetation on Tree Height Growth». *Forest Science* 54(1): 107-122.
- Salas-Eljatib, C., A. Fuentes-Ramírez, T. G. Gregoire, A. Altamirano y V. Yaitul (2018). «A Study on the Effects of Unbalanced Data when Fitting Logistic Regression Models in Ecology». *Ecological Indicators* 85: 502-508. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.10.030.
- Salas-Eljatib, C. y A. R. Weiskittel (2018). «Evaluation of Modeling Strategies for Assessing Self-thinning Behavior and Carrying Capacity». *Ecology and Evolution* 8(22): 10.768-10.779. doi: 10.1002/ece3.4525.
- Scheffer, M., S. Carpenter, J. A. Foley, C. Folke y B. Walker (2001). «Catastrophic Shifts in Ecosystems». *Nature* 413: 591-596. doi: 10.1038/35098000.
- Smith, S. A. y J. W. Brown (2018). «Constructing a Broadly Inclusive Seed Plant Phylogeny». *American Journal of Botany* 105(3): 302-314. doi: 10.1002/ajb2.1019.
- Steenweg, R., M. Hebblewhite, R. Kays et al. (2017). «Scaling-up Camera Traps: Monitoring the Planet's Biodiversity with Networks of Remote Sensors». *Frontiers in Ecology and the Environment* 15(1): 26-34. doi: 10.1002/fee.1448.
- Tabak, M. A., M. S. Norouzzadeh, D. W. Wolfson et al. (2019). «Machine Learning to Classify Animal Species in Camera Trap Images: Applications in Ecology». *Methods in Ecology and Evolution* 10(4): 585-590. doi: 10.1111/2041-210X.13120.
- Travis, J. M. J. (2003). «Climate Change and Habitat Destruction: A Deadly Anthropogenic Cocktail». *Proceedings of the Royal Society of London: Biological Sciences* 270(1.514): 467-473. doi: 10.1098/rspb.2002.2246.
- Wilson, E. O. (1999). *The Diversity of Life*. Nueva York: WW Norton & Company.



MESA
BIODIVERSIDAD



COP25
CHILE
2019

COMITÉ
CIENTÍFICO
DE CAMBIO
CLIMÁTICO