



PROYECTO GEF

Protegiendo la biodiversidad y múltiples servicios ecosistémicos en corredores biológicos de montaña en el ecosistema mediterráneo de Chile:

Sistema de información y monitoreo de la biodiversidad (SIMBIO) y servicios ecosistémicos, expresión regional: Monitoreo a escala de paisaje





Descarga el librito aquí:



Siglas y acrónimos

CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CIREN	Centro de Información de Recursos Naturales
CONAF	Corporación Nacional Forestal
(CR) ²	Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia
GBIF	Nodo Nacional de Información sobre Biodiversidad (por su sigla en inglés)
GEF	Fondo Mundial para el Medio Ambiente (por su sigla en inglés)
GORE	Gobierno Regional
GORE RMS	Gobierno Regional de la Región Metropolitana de Santiago
MMA	Ministerio del Medio Ambiente
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
ONG	Organización No Gubernamental
ONU	Organización de las Naciones Unidas
ONU Medio Ambiente	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/PNUMA
P-E-R	Presión-Estado-Respuesta
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
RECOGE	Recuperación, Conservación y Gestión de Especies
RED MACAM	Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de la Región Metropolitana
RENAMU	Reserva Natural Municipal
RMS	Región Metropolitana de Santiago
SEIA	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
SEREMI	Secretaría Regional Ministerial
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SIMBIO	Sistema de Información y Monitoreo de la Biodiversidad
SNASPE	Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado

Siglas y acrónimos

1.	Presentación	7
2.	Diagnóstico	8
3.	Experiencia piloto: Desarrollo del SIMBIO RMS	10
	3.1 Indicadores de biodiversidad a escala de paisaje	10
	3.1.1 Obtención de biotopos como base de información ecosistémica	12
	3.1.1.1 Metodología empleada para obtención de biotopos	13
	3.1.2 Servicio ecosistémico de purificación del aire por vegetación nativa	14
	3.1.3 Servicio ecosistémico de captura de carbono y degradación por vegetación nativa	17
	3.1.3.1 Resultados captura de carbono por vegetación nativa	17
	3.1.3.2 Resultados degradación del bosque nativo	18
	3.2 Desarrollo de la plataforma SIMBIO: Módulo regional	20
	3.2.1 Contenidos temáticos del módulo regional	21
	3.2.2 Guía de uso del módulo SIMBIO RMS	23
4.	Lecciones aprendidas	26
5.	Bibliografía	27



1. Presentación

El proyecto GEF/MMA/ONU Medio Ambiente *Protegiendo la biodiversidad y múltiples servicios ecosistémicos en corredores biológicos de montaña en el ecosistema mediterráneo de Chile* (en adelante, el Proyecto GEF Montaña) tuvo como objetivo contribuir al desarrollo de iniciativas públicas y privadas para la conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, protegiendo y potenciando los beneficios que entregan las montañas de la región Metropolitana y el sector de la cordillera de la Costa de la región de Valparaíso, mediante el desarrollo de tres líneas de trabajo:

1. Fortalecimiento de la gobernanza territorial y gestión ambiental local, mediante la capacitación de las unidades ambientales municipales en temas de conservación de la biodiversidad y uso sustentable del paisaje;
2. Implementación y promoción de buenas prácticas productivas para la conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos; y
3. Desarrollo de un piloto a escala regional del *Sistema de Información y Monitoreo de la Biodiversidad* (SIMBIO) y sus servicios ecosistémicos actualizado y de calidad, dando cuenta de indicadores de paisaje y de sitio para la toma de decisiones.

Para llevar a cabo el objetivo, se comprometieron diferentes productos. Uno de ellos, perteneciente a la línea de trabajo de *Biodiversidad y servicios ecosistémicos*, fue el desarrollo de un sistema de información y monitoreo de la biodiversidad y servicios ecosistémicos para la Región Metropolitana de Santiago (en adelante, SIMBIO RMS).

En este documento se comparten algunos de los principales indicadores de biodiversidad obtenidos del diseño y puesta en marcha de este sistema piloteado en la región mas poblada del país y el desarrollo de un módulo regional dentro de la plataforma nacional del SIMBIO, a cargo del Ministerio del Medio Ambiente (MMA), el cual se entiende como un sistema colaborativo público y privado que aspira a unificar los esfuerzos de todos los sectores en materias de cuidado y protección de la biodiversidad del país.

A partir de esta experiencia, el Proyecto GEF Montaña busca establecer un sistema de monitoreo regional permanente, con evaluación periódica y a través del análisis de la condición de la estructura, de la composición y del funcionamiento de la biodiversidad de la región. Se espera que la revisión de este piloto permita facilitar el establecimiento de esta herramienta de gestión en otras regiones.

2. Diagnóstico

El *Convenio sobre la Diversidad Biológica*¹ de 1992 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) compromete a los países firmantes a actualizar sus *Estrategias Nacionales de Biodiversidad* que, dentro de sus objetivos, buscan la identificación de los componentes de la diversidad biológica importantes para su conservación y utilización sostenible en el tiempo, manteniendo y organizando la información sobre ella para facilitar los futuros análisis y evaluaciones. Complementariamente, la Ley 19300 *Sobre Bases Generales del Medio Ambiente* (ver cuadro marco legal), exige asegurar una administración que promueva un desarrollo sustentable, donde servicios públicos y gobiernos locales asuman la responsabilidad y participen de la protección ambiental de sus territorios. Asimismo, la *Evaluación de Desempeño Ambiental de Chile 2016* de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), enfatiza la necesidad de elaborar una línea de base precisa de la biodiversidad que muestre tendencias, proporcione información para la toma de decisiones e identifique acciones prioritarias, con el fin de avanzar hacia la conservación de la diversidad biológica y su aprovechamiento sostenible. La misma evaluación devela la existencia de grandes vacíos de información sobre el estado de conservación de las especies y los ecosistemas, pero también que se cuenta con un conjunto de instituciones públicas y privadas robustas que generan información sobre biodiversidad y que pueden aportar a su monitoreo.

Años más tarde, se suma el *Acuerdo de Escazú* de 2018, recientemente ratificado por Chile, donde se establece:

“Garantizar la implementación plena y efectiva en América Latina y el Caribe de los derechos de acceso a la información ambiental, participación pública en los procesos de toma de decisiones ambientales y acceso a la justicia en asuntos ambientales, así como la creación y el fortalecimiento de las capacidades y la cooperación, contribuyendo a la protección del derecho de cada persona, de las generaciones presentes y futuras, a vivir en un medio ambiente sano y al desarrollo sostenible” (CEPAL, 2018, artículo 1).

Al respecto, Chile ha realizado grandes esfuerzos por revertir la falta de conocimiento ambiental durante las últimas décadas. Sin embargo, no contaba con un sistema integrado de monitoreo de los componentes ambientales para la conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos que diera respuesta a las necesidades de acceso a la información.

En respuesta a las demandas de acceso a la información ambiental, el MMA cuenta con una serie de información, pero no integrada como, por ejemplo, el Inventario Nacional de Especies; áreas silvestres protegidas; el Inventario de Humedales; e iniciativas de restauración. El MMA, gracias al Fondo Conjunto de Cooperación Chile-México², comenzó a trabajar a partir del 2018 en la implementación del SIMBIO, plataforma única nacional cuyo objetivo fue integrar los antecedentes dispersos de biodiversidad. Y, al mismo tiempo, el Proyecto GEF Montana desarrolló un piloto de monitoreo de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos a escala regional (SIMBIO

1. Instrumento internacional para la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos y que ha sido ratificado por 196 países.
2. El SIMBIO fue financiado por el Fondo Conjunto de Cooperación Chile-México, a través del proyecto *Transferencia tecnológica entre México y Chile para el fortalecimiento institucional en el contexto del cambio climático y en el marco de la creación del Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas de Chile*. Incluye los módulos de áreas protegidas, ecosistemas marinos y terrestres, planes RECOGE, iniciativas de restauración ecológica y humedales; además de un geoportail con funcionalidades para análisis básicos.

RMS). El 2021, ambas iniciativas convergieron, a través del desarrollo de un módulo regional en la plataforma del SIMBIO nacional, lo que permitió ordenar, sistematizar y visualizar a escala regional los antecedentes relevantes para la gestión de la diversidad biológica en el territorio, sentando las directrices para el desarrollo de una herramienta de consulta de múltiples escalas (nacional, regional y comunal).

Es relevante destacar que el SIMBIO RMS es el ensayo regional que se articula al SIMBIO de nivel nacional. Este último se entiende como un sistema colaborativo público y privado, que aspira a unificar los esfuerzos de todos los sectores en materias de cuidado y protección de la biodiversidad del país. Atendiendo a esto, el diseño de la expresión regional del SIMBIO, en este caso para la región Metropolitana, no solo considera al Proyecto GEF Montana, al MMA y a la SEREMI de Medio Ambiente RMS, sino también a múltiples instituciones y sectores atinentes y competentes en las áreas de biodiversidad y servicios ecosistémicos. Con ello, se aprovecha la información existente y la que puede ser generada por otras entidades, maximizando el uso de la información y trabajando en una red colaborativa.

Marco legal

La formulación del SIMBIO se enmarca en las labores encomendadas al Ministerio del Medio Ambiente por la Ley 19300 *Sobre Bases Generales del Medio Ambiente*, así como en el *Reglamento Orgánico 2020* de la misma institución pública.

La Ley 19300, en el artículo 70, indica que corresponderá al MMA proponer planes, programas y políticas ambientales; supervigilar el *Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado*, así como supervisar las áreas protegidas de propiedad privada; velar por el cumplimiento de las convenciones internacionales en que Chile sea parte en materia ambiental; y proponer políticas, planes, programas y planes de acción en materia de cambio climático, entre otros.

Estas labores asignadas al MMA requieren de un sistema que sustente una gestión basada en evidencias. En específico, en el mismo artículo, se hace referencia a la necesidad concreta de un Sistema de Información y Monitoreo de la Biodiversidad:

j) *“Elaborar y ejecutar estudios y programas de investigación, protección y conservación de la biodiversidad, así como administrar y actualizar una base de datos sobre biodiversidad”* y k) *“Elaborar los estudios necesarios y recopilar toda la información disponible para determinar la línea de base ambiental del país, elaborar las cuentas ambientales, incluidos los activos y pasivos ambientales, y la capacidad de carga de las distintas cuencas ambientales del país”*.

El Reglamento Orgánico del MMA de 2020, Decreto 13, título V, artículo 7, respecto de las funciones de la División de Recursos Naturales, expresa:

i) *“Asesorar al ministro en la elaboración y formulación de estudios y programas de investigación, protección y conservación de la biodiversidad, así como la administración de una base de datos sobre biodiversidad, clasificación de ecosistemas, inventarios de especies y ecosistemas, así como aquella otra información que permita implementar las redes de monitoreo de ecosistemas, para conocer el estado de salud de bosques, especies, ríos, humedales, ambientes marinos y costeros”*.

3. Experiencia piloto: Desarrollo del SIMBIO RMS

En el marco del Proyecto GEF Montaña, se desarrolló el piloto del SIMBIO RMS, con proyección de transformarse en una herramienta estratégica para el desarrollo de políticas públicas regionales ambientalmente sostenibles, que facilite la gestión y contribuya a la toma de decisiones en el tema de las evaluaciones. Además, con la posibilidad de brindar a la ciudadanía acceso libre a la información sobre el estado y tendencia de la diversidad biológica y salud de los ecosistemas.

Para el desarrollo del SIMBIO RMS se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general

Disponer de información sistematizada, actualizada, continua y permanente sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos relacionada a los componentes de estructura, composición y función, en diferentes escalas de análisis, asociados a los ecosistemas mediterráneos de la RMS.

Objetivos específicos

- Levantar datos e información de biodiversidad y sus servicios ecosistémicos a escala de paisaje y de sitio, instalando equipo y tecnología, tomando datos y procesando información con esfuerzos propios del MMA.
- Recopilar y sistematizar datos e información sobre biodiversidad y servicios ecosistémicos que sean generados por instituciones públicas y privadas, municipalidades, universidades, centros de investigación, ONG u otras, propiciando la interacción entre estos organismos y promoviendo la participación ciudadana en la generación de datos.
- Desarrollar indicadores de biodiversidad y servicios ecosistémicos, de manera sistemática, periódica, comprensible y bajo el modelo P-E-R (Presión-Estado-Respuesta)³, que orienten la toma de decisiones y sensibilicen respecto de la conservación de la biodiversidad y las necesidades de manejo sustentable a escala regional y local.
- Generar reportes periódicos sobre la condición de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos a partir de la información levantada, recopilada y sistematizada y de los indicadores.
- Difundir y garantizar el acceso a los datos e información producida sobre biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, de manera continua y permanente en el tiempo y bajo los estándares definidos por la institución responsable.

3.1 Indicadores de biodiversidad a escala de paisaje

Monitorear la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos es un gran desafío, especialmente, si se desea abordar los componentes: estructura, función y composición (Noss, 1990) en dos escalas de trabajo: paisaje y sitio. El

3. Modelo propuesto por la Agencia Ambiental de Canadá y OCDE en 1993 para organizar conjuntos de indicadores.

piloto SIMBIO RMS propone indicadores a escala de paisaje y de sitio que, a lo largo del tiempo, permitirán estimar las tendencias en los cambios en el estado de los ecosistemas y biodiversidad regional. A nivel de paisaje, el SIMBIO RMS se enfoca, principalmente, en la medición de servicios ecosistémicos que tienen directa relación con los beneficios ambientales entregados por las áreas silvestres remanentes, siendo prioridad regional su determinación y protección. Los indicadores propuestos son⁴:

- Tasa de captura de material particulado PM_{10} para cinco especies del bosque esclerófilo (peumo, boldo, quillay, espino y litre).
- Tasa de captura/emisión de CO_2eq^5 por parte del bosque y matorral esclerófilo.
- Tasa de degradación de la vegetación nativa.
- Tasa de degradación del bosque esclerófilo.

Por otra parte, a escala de sitio se monitorea, principalmente, la composición de la biodiversidad (identidad de las especies presentes y su distribución en el sitio) y la componente funcional (rol ecológico de las especies presentes en cada sitio), cuyos indicadores se presentan en el librito VIII de la serie de experiencias del Proyecto GEF Montaña: *Sistema de Información y Monitoreo de la Biodiversidad (SIMBIO) y servicios ecosistémicos, expresión regional: Monitoreo a escala de sitio*.

Un sistema de monitoreo de la biodiversidad requiere medidas cuantitativas y replicables de sus indicadores. Esto permite que su significado sea más relevante, se facilite la entrega de información sobre fenómenos complejos y, por último, que sea costo eficiente. Estos, además, pueden ser utilizados para monitorear los cambios en el estado de la biodiversidad, medir los esfuerzos y procesos establecidos para lograr un objetivo (indicadores de proceso), medir el éxito y la eficacia de los esfuerzos de conservación (indicadores de desempeño).

Una de las herramientas más utilizadas para monitorear los distintos componentes de los sistemas terrestres y marinos es la *percepción remota*⁶. Esto se debe a que, a través del análisis de la información entregada periódicamente por satélites, radares y otros, se puede obtener diversos tipos de datos sobre los ecosistemas, a distintas escalas temporales y espaciales.

En su diseño, el SIMBIO RMS consideró el levantamiento de información directamente a cargo del Proyecto GEF Montaña. A escala de paisaje, esta iniciativa consideró levantar información para toda el área del proyecto comprendida en la RMS, de modo permanente y simultánea, basándose principalmente en sistemas de información geográfica (SIG) y tecnologías de percepción remota, con las cuales es posible monitorear el territorio en forma extensa y simultánea y, además, obtener información de años anteriores dependiendo de la disponibilidad de imágenes satelitales. A partir de esta información, se pueden abordar los componentes de estructura y función de la biodiversidad.

Resulta relevante facilitar el acceso de esta información a organismos públicos y privados, que pueden encontrar en el sistema de monitoreo, datos e indicadores estandarizados para usar en la construcción de sus propios instrumentos de gestión ambiental como ordenanzas municipales, planes reguladores, *reservas naturales municipales* (RENAMU), entre otros. El detalle de este monitoreo se encuentra descrito en el *Reporte*

4. Estos indicadores se construyeron a partir de datos obtenidos por imágenes satélite y calibrados en terreno.

5. Dióxido de carbono equivalente.

6. Permite desarrollar, capturar, procesar y analizar imágenes, junto con otros datos físicos de la Tierra, obtenidos desde sensores en el espacio, aerotransportados o que capturan datos de mediciones *in situ*.

2020 *Estado de la biodiversidad y servicios ecosistémicos. Expresión regional del SIMBIO Región Metropolitana de Santiago* (MMA y ONU Medio Ambiente, 2020a); y en el *Resumen para tomadores de decisiones: Reporte 2020 SIMBIO RMS* (MMA y ONU Medio Ambiente, 2020b).

3.1.1 **Obtención de biotopos como base de información ecosistémica**

El primer paso para la elaboración del SIMBIO RMS consistió en integrar la información actual de la biodiversidad en el área del proyecto, tarea que, además, exigió dar coherencia a las distintas escalas de los datos. Este esfuerzo condujo a integrar la información en unidades ecosistémicas definidas, a través del levantamiento de cartografía de biotopos a escala 1:25.000 para toda la RMS.

Los biotopos son unidades ecosistémicas básicas, de escala local, que se relacionan con los ecosistemas terrestres de escala regional y nacional conocidos como formaciones vegetacionales, a través de los pisos vegetacionales (Luebert y Pliscoff, 2018). Corresponden a una región ambiental caracterizada por un conjunto de condiciones abióticas y pobladas por una biota característica, en un tiempo determinado. Se representan por un área homogénea en términos de su geoforma y de su estructura, fisionomía y composición de la vegetación.

Estas unidades son utilizadas en la llamada *cartografía bionómica*, entendida como aquella en la que se representan las comunidades biológicas en el lugar que ocupan en el espacio. A través de la elaboración de un inventario de especies y comunidades en un biotopo determinado, se pueden identificar los conjuntos de poblaciones existentes, que pueden ser cartografiadas y georreferenciadas, para integrarlas en un sistema de información geográfica como es el caso del SIMBIO.

Para el Proyecto GEF Montaña, la obtención de este tipo de información resulta fundamental. Esto, porque el paisaje mediterráneo de Chile central está cambiando vertiginosamente y debe ser monitoreado en tiempo real y a escala de ecosistemas. En consecuencia, para orientar las decisiones de gestión del territorio a escala regional y local, es necesario contar con unidades ecosistémicas.

La caracterización de unidades ecosistémicas como los biotopos entrega información de utilidad para la gestión de la conservación de la biodiversidad por parte de los municipios; el desarrollo de la *planificación ecológica a escala local*; las herramientas de análisis del sistema de información y monitoreo de la biodiversidad de la región; la definición de las unidades ecosistémicas básicas para las *Cuentas Ecosistémicas* del MMA; y la evaluación ambiental de proyectos, entre muchas otras aplicaciones.

Los pisos vegetacionales son reconocidos por el MMA como los ecosistemas terrestres de Chile continental de utilidad para el análisis a escala regional y nacional. Los biotopos representan ecosistemas a escala local, a partir de los cuales se puede hacer seguimiento de cambios temporales de diferentes atributos como, por ejemplo, porcentaje de superficie con vegetación remanente, porcentaje de superficie de vegetación transformada, grado de fragmentación de la vegetación remanente en un biotopo, entre otras aplicaciones (Pliscoff, 2020).

La propuesta desarrollada por el Proyecto GEF Montaña, al considerar los pisos vegetacionales como unidades ecosistémicas de referencia y con la generación de un algoritmo para la modelación de geoformas a partir de un modelo de elevación digital (DEM)⁷ hacen de esta metodología una aproximación replicable y escalable para todo el país.

7. <https://learn.arcgis.com/es/related-concepts/digital-elevation-models.html>

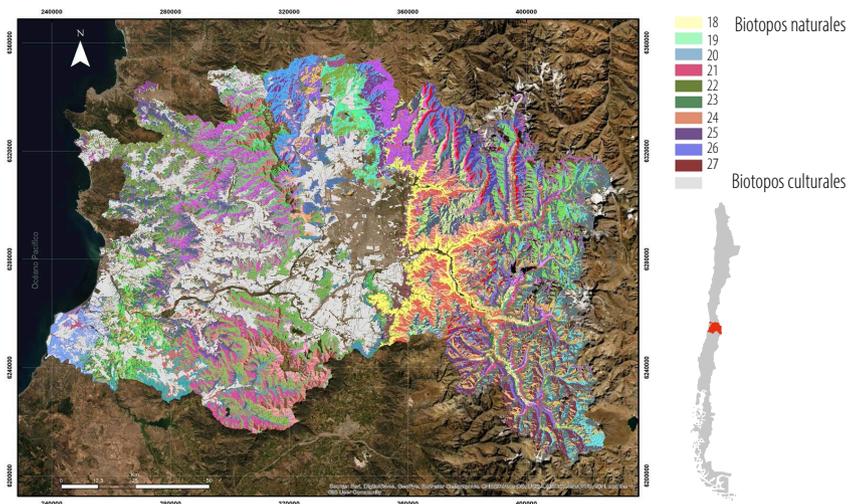
3.1.1.1 Metodología empleada para obtención de biotopos

Los biotopos se caracterizan por ser un área homogénea en términos de su geoforma y de la estructura y fisonomía de la vegetación. Para la representación de ellos a escala 1:25.000, el equipo del Proyecto GEF Montaña trabajó con seis variables, con las que realizó un análisis de conglomerado para clasificar zonas físicas:

- Altitud.
- Exposición norte – sur.
- Exposición este – oeste.
- Pendiente.
- Índice de humedad topográfica.
- Índice de humedad normalizada.

La siguiente fase correspondió a la superposición de coberturas que representan la vegetación característica en cada geoforma, obteniéndose subdivisiones dentro de cada una, en función de los pisos vegetacionales (Luebert y Plissock, 2018). A partir de la concatenación de estos elementos se construyó el nombre de los biotopos naturales, que, primero, se forma de acuerdo con la estructura vegetacional dominante representada por el nivel jerárquico de formación vegetal (bosque, herbazal, matorral y que corresponde a la primera parte del nombre de cada piso vegetacional); segundo, se hace referencia a la geoforma; y, finalmente, se cierra el nombre con las especies dominantes según lo indican los pisos vegetacionales. En total, se caracterizaron 103 biotopos naturales (ver Figura 1).

Figura 1. Mapa de los 103 biotopos naturales obtenidos para toda el área del Proyecto GEF Montaña

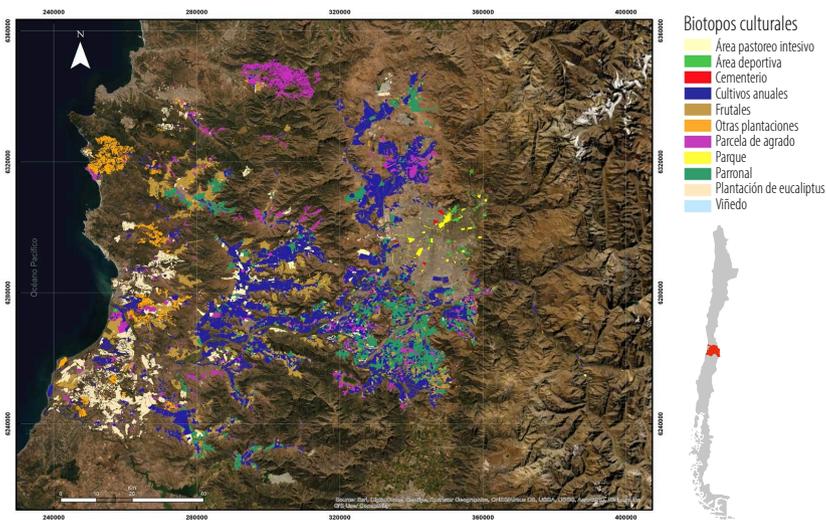


Fuente: MMA y ONU Medio Ambiente, 2022

Para los biotopos culturales, se consideraron todos los polígonos con modificación humana intensa, agrupados según clases e información derivada del estudio del Gobierno Regional de la Región Metropolitana de Santiago (GORE RMS, 2012), sin aplicarles la asignación de geoforma, ya que en primera instancia se puede suponer que

la asistencia humana en esta vegetación conlleva, en algún grado, un desacople entre las características de las geoformas y la vegetación que en ellas crece. En total, se caracterizaron 11 biotopos culturales (ver Figura 2).

Figura 2. Mapa de los 11 biotopos culturales obtenidos para toda el área del Proyecto GEF Montaña



Fuente: MMA y ONU Medio Ambiente, 2022

3.1.2 Servicio ecosistémico de purificación del aire por vegetación nativa

Dentro del área del Proyecto GEF Montaña se encuentran grandes superficies de bosque esclerófilo aledaños al casco urbano de Santiago. Las ciudades son centros de producción de gases contaminantes que pueden causar variados problemas de salud a la población como las emisiones de material particulado PM_{10} ⁸, que se encuentran asociadas a enfermedades cardiovasculares y respiratorias. La vegetación nativa puede reducir la contaminación ambiental a través de la depositación seca, cuyo valor aún no se ha estimado en relación con su servicio de purificación de aire.

En este ámbito, el Proyecto GEF Montaña desarrolló una consultoría orientada a estimar la capacidad de remoción del contaminante PM_{10} del bosque esclerófilo (MMA y ONU Medio Ambiente, 2018). Como indicador de este servicio ecosistémico se cuantificó la depositación de PM_{10} sobre el follaje del bosque (medida al año en kg/ha). La depositación anual para el área fue estudiada en 111 parcelas de muestreo, considerando las mediciones de material particulado de las estaciones de la *Red de monitoreo de la calidad del aire de la región Metropolitana* (RED MACAM)⁹ del Ministerio del Medio Ambiente más cercanas a cada parcela. Los resultados indicaron que 40 hectáreas capturan aproximadamente una tonelada de material particulado PM_{10} al año, con un promedio de 25,17 kg/ha.

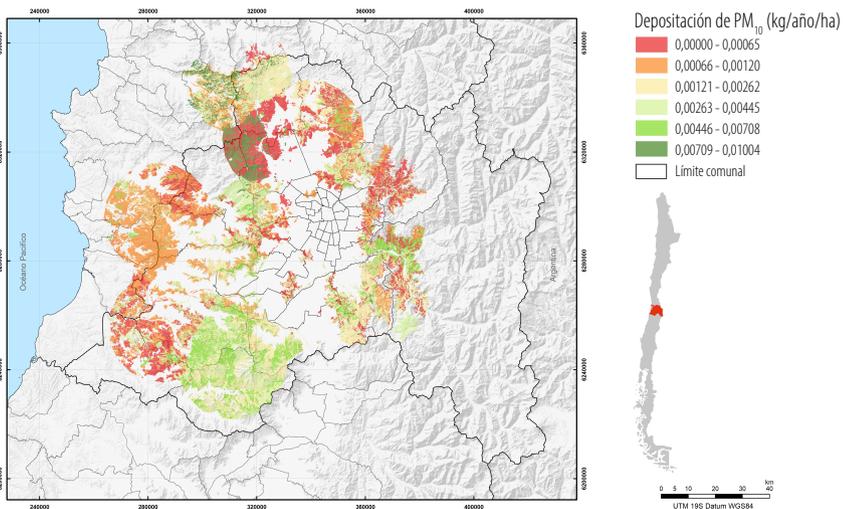
8. Partículas cuyo tamaño son menores o iguales a 10 μm (micrones) son llamadas respirables porque tienen la capacidad de introducirse al sistema respiratorio.
 9. <http://sinca.mma.gob.cl/>

Este servicio fue cuantificado para las especies dominantes y, por tanto, más abundantes en los bosques de la región correspondientes a espino (*Vachellia caven*), peumo (*Cryptocarya alba*), litre (*Lithrea caustica*), boldo (*Peumus boldus*) y quillay (*Quillaja saponaria*). De estas especies, las mayores tasas de depositación por individuo ocurren para el boldo (524 gr/año) y quillay (401 gr/año), mientras que las mayores tasas de depositación por metro cuadrado son para bosques higrofilos formados por boldo (8,7 gr/año) y peumo (7,2 gr/año).

En la Figura 3, se puede ver la representación espacial del potencial de deposición de los bosques, en un área circundante de 20 km de radio, para cada parcela de muestreo, distancia que se consideró pertinente dada la movilidad del PM_{10} . Se puede observar que los valores más altos de depositación se encuentran hacia el sur de la cordillera de los Andes, en las comunas de San José del Maipo y Pirque, así como en la cordillera de la Costa, específicamente en el cordón montañoso de Cantillana. En cambio, las áreas ubicadas hacia los valles interiores y sector norte de la cordillera de los Andes presentan menor nivel de depositación, en gran medida por la menor cobertura de bosque en ellos.

De esta forma, es posible concluir que la presencia de bosques saludables puede asociarse con un potencial de purificación de aire, mediante la depositación de PM_{10} en sus hojas. Este mecanismo permite a los árboles nativos actuar como purificadores del aire, observándose que bosques densos incrementan significativamente este potencial de depositación de material particulado. Además, se identifica que el boldo es la especie que presenta los mayores valores por individuo, seguido por el quillay y, que los bosques higrofilos de peumo y boldo, presentan el mayor potencial por metro cuadrado.

Figura 3. Deposición de PM_{10} en la vegetación en el área de estudio para coberturas del Catastro de Vegetación de Bosque Nativo de 2013 del Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) y la Corporación Nacional Forestal (CONAF), encontradas a menos de 20 km de las parcelas de muestreo

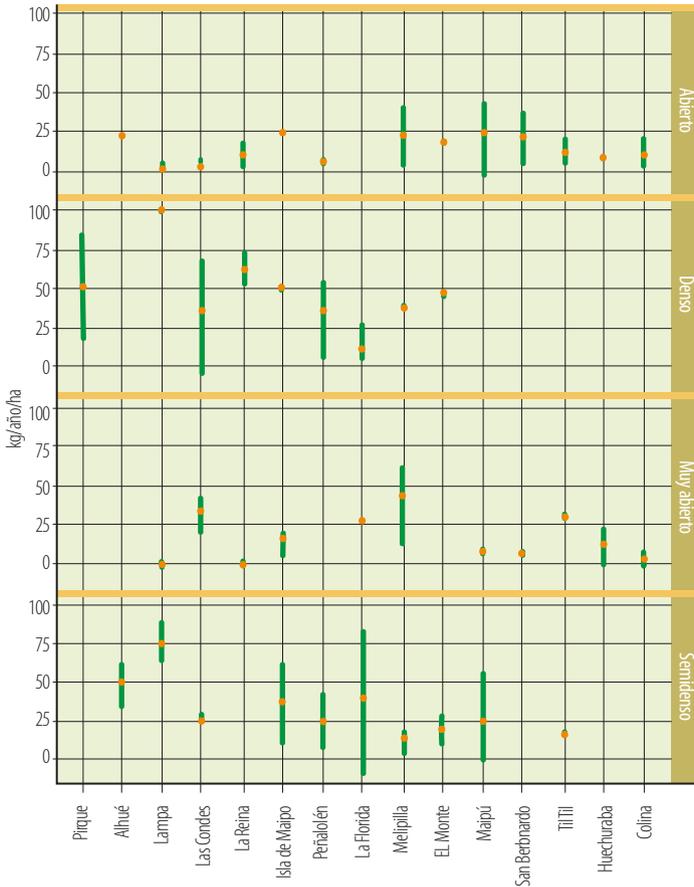


Fuente: MMA y ONU Medio Ambiente, 2020a, p. 51

Las comunas que presentan mayor potencial de purificación de aire por depositación de PM_{10} son Pirque y Alhué, lo que se debe en gran medida a la existencia de extensas superficies de bosque esclerófilo denso o

semidenso. No obstante, y considerando que el potencial de purificación no se da solo por presencia de bosque sino también por la concentración de contaminantes, es destacable que la comuna de Lampa presenta la parcela con el máximo potencial de purificación de aire por deposición de PM_{10} del total de las parcelas monitoreadas (ver Figura 4). Esta comuna no presenta grandes extensiones de bosque esclerófilo denso o semidenso, por lo cual la comuna no se ubica entre las que más aportan, sin embargo, sus relictos de bosque y matorral son, probablemente, los que más aportan a la purificación del aire de la gran capital. Este resultado destaca el valor de conservar este tipo de vegetación en los alrededores de la ciudad Santiago.

Figura 4. Depositación anual promedio de PM_{10} (kg/ha), según el tipo de cobertura de bosque por parcelas muestradas en las comunas



Se muestra barra de error estándar en los casos donde hay más de una parcela de muestreo.

Fuente: MMA y ONU Medio Ambiente, 2020a, p. 52

3.1.3 Servicio ecosistémico de captura de carbono y degradación por vegetación nativa

3.1.3.1 Resultados captura de carbono por vegetación nativa

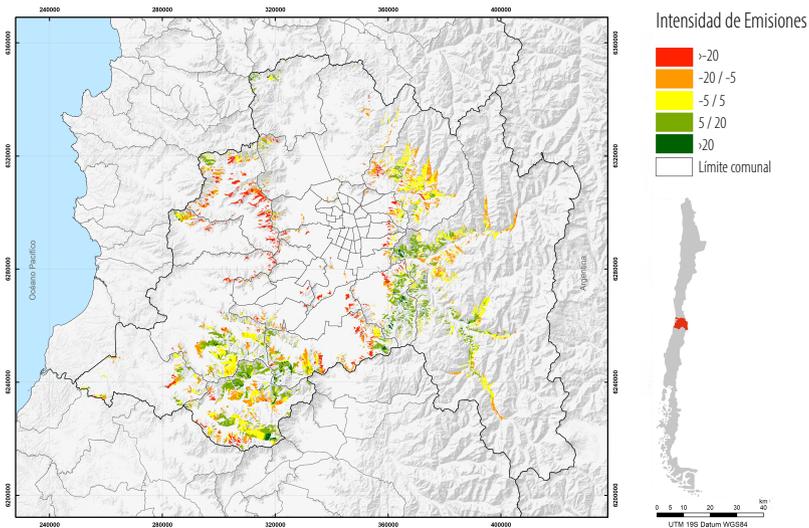
El Proyecto GEF Montaña financió el estudio *Estimación de las emisiones y capturas de carbono de los ecosistemas mediterráneos de la zona central de Chile* (MMA y ONU Medio Ambiente, 2020c), para determinar la captura de carbono y emisiones por degradación en los bosques y matorrales pertenecientes al área del proyecto.

La metodología utilizada estima la cantidad de carbono almacenado en bosques y matorrales esclerófilos entre los años 2001 y 2013, basándose en el estudio *Análisis de emisiones y absorciones de carbono forestal en el bosque mediterráneo de Chile* realizado por CONAF en 2016 para las regiones del sur del país. Este estudio generó un modelo de existencias de carbono en los bosques, que se basa en la relación entre el CO_2eq de la biomasa aérea de la vegetación arbórea y la reflectividad que entregan las imágenes satelitales.

Se realizó un análisis desglosado por comuna de las capturas de carbono equivalente realizadas por los bosques y matorrales presentes en ellas. El total de superficie de vegetación nativa mediterránea que muestran captura de carbono durante el período corresponde a 166.276 ha, con existencias totales de carbono 15.020.432 tCO_2eq^{10} para 2001 y 16.300.448 tCO_2eq para 2013.

Las Figuras 5 y 6 muestran los resultados para bosques y matorrales respectivamente, las superficies de colores verdes muestran las coberturas que han incrementado su *stock* de carbono entre el 2001 y 2013 mediante captura, mientras que los colores naranjos y rojos indican disminución del *stock*, resultando en emisiones de carbono.

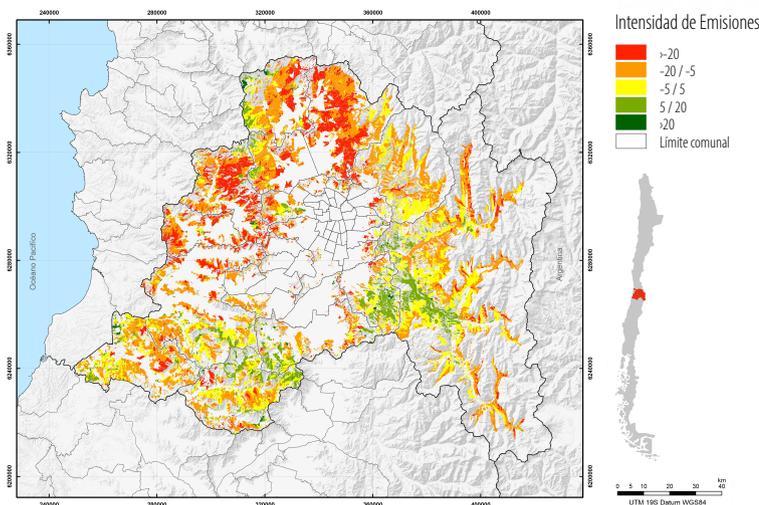
Figura 5. Áreas con captura de carbono en bosque (tCO_2eq/ha) en comunas pertenecientes al Proyecto GEF Montaña durante el período 2001 - 2013



Fuente: MMA y ONU Medio Ambiente, 2020a, p. 56

10. Tons of carbon dioxide equivalent.

Figura 6. Áreas con captura de carbono en matorral (tCO_2eq/ha) en comunas pertenecientes al Proyecto GEF Montaña durante el período 2001 - 2013



* Resultados negativos muestran cuando las emisiones han aumentado entre un período y otro, mientras que los positivos muestran cuando ha existido una reducción de emisiones.

Fuente: MMA y ONU Medio Ambiente, 2020a, p. 57

Existe una gran variabilidad a nivel comunal, observándose una mayor captura en las comunas de San José de Maipo con más de 120.000 tCO_2eq ; seguidas por Alhué y Pirque, con 79.000 y 57.500 tCO_2eq , respectivamente. De la misma forma, para el matorral, se observa que las comunas con mayor captura de carbono son San José de Maipo con casi 190.000 tCO_2eq ; seguidas por Alhué y Pirque, con 124.000 y 120.000 tCO_2eq , respectivamente.

3.1.3.2 Resultados degradación del bosque nativo

El área en estudio donde se emplaza el Proyecto GEF Montaña ha sufrido años de explotación de sus bosques debido, principalmente, al uso que se les ha dado para carbón y leña, alimentación de ganado, reemplazo en áreas agrícolas o urbanas y por el impacto de incendios, entre otros. Esto ha generado una severa degradación de los bosques y matorrales esclerófilos con la consecuente pérdida de biodiversidad en la zona mediterránea y la disminución en la absorción y el almacenamiento de carbono.

De acuerdo con el estudio desarrollado por CONAF en 2016 usado como base de la metodología, se considera degradación a toda aquella reducción del almacenamiento de carbono de un bosque provocada por el ser humano, con una intensidad que recomienda el cese de cualquier actividad silvícola, pero que no provoca un cambio de uso de suelo.

Es así como las emisiones por degradación corresponden específicamente a aquellas que se generan a partir de la reducción de existencias de carbono en bosque o matorral, que se producen por debajo de un umbral de degradación (MMA y ONU Medio Ambiente, 2020c).

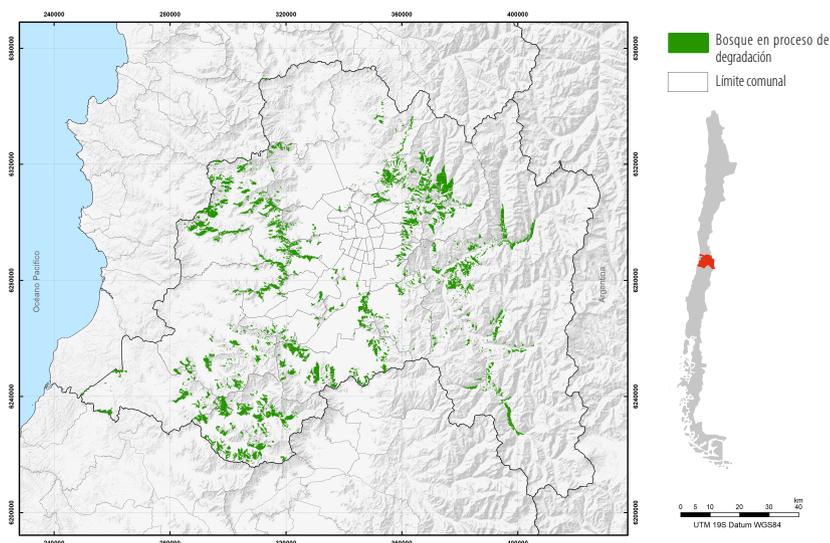


Peumus boldus
© GEF MONTAÑA

Al respecto y utilizando la información del estudio encargado por el Proyecto GEF Montaña para la estimación de emisiones y capturas de carbono de la vegetación nativa del área del proyecto, se obtuvo una línea base para el monitoreo de degradación que calcula la disminución de existencias de carbono en la última década (entre 2001 y 2013). El indicador mide la superficie de bosque esclerófilo en proceso de degradación durante un periodo determinado.

Los resultados obtenidos indican que una superficie de 69.560,5 ha de bosque se encuentran bajo procesos de degradación para el periodo (ver Figura 7).

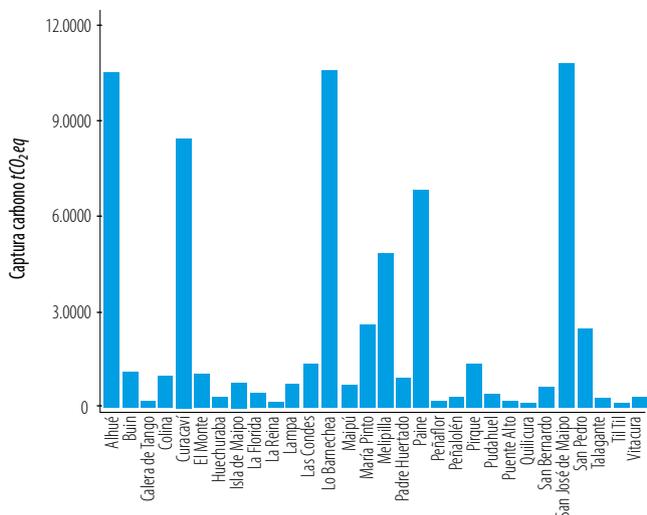
Figura 7. Áreas de bosque en proceso de degradación en las 30 comunas de la RMS pertenecientes al área del Proyecto GEF Montaña, durante el periodo 2001 y 2013



Fuente: MMA y ONU Medio Ambiente, 2020a, p. 61

Por comuna, se observa un promedio general de superficie en degradación de 2.318 ha, sin embargo, existe una alta variabilidad entre ellas, donde la comuna de San José de Maipo es la que presenta mayor superficie de bosque en proceso de degradación con 10.8271 ha, seguida por Lo Barnechea, Alhué y Curacaví (ver Figura 8).

Figura 8. Superficie de bosque en proceso de degradación para las comunas de la RMS en el área del proyecto GEF Montaña, entre 2001 y 2013



Fuente: MMA y ONU Medio Ambiente, 2020a, p. 62

Entonces, las principales conclusiones para este indicador son que, aquellas comunas que presentan las mayores tasas de captura de carbono, a su vez cuentan con las mayores superficies en proceso de degradación de bosque. Esto es indicio que hay una fuerte amenaza a la continuidad de provisión de este beneficio ecosistémico en la región Metropolitana.

Por otra parte, para toda el área del proyecto es mayor la superficie tanto de bosque como de matorral esclerófilo que está en proceso de degradación, es decir, liberando carbono a la atmósfera (640.502 ha), que la que está en proceso de crecimiento, es decir, capturando carbono de la atmósfera (166.265 ha).

3.2 Desarrollo de la plataforma SIMBIO: Módulo regional

Chile cuenta con un *Sistema Nacional de Información y Monitoreo de la Biodiversidad* (SIMBIO), herramienta administrada por el MMA, en línea y de libre acceso con la capacidad de conectar distintas fuentes de información existentes y representadas mediante georreferenciación. De esta forma, el sistema da acceso a información actualizada tanto documental como cartográfica sobre biodiversidad de todo el país, lo que permite manejar datos de múltiples ecosistemas, de las especies que los habitan y conocer los instrumentos que se están implementado para la conservación y protección.

A través del piloto de la expresión regional del SIMBIO RMS del Proyecto GEF Montaña, se diseñó la estructura operacional del módulo para todas las regiones del país y, de forma complementaria, para la región Metropolitana, se sumó el monitoreo de indicadores de biodiversidad de estado y respuesta a la presión de la actividad humana en la región más poblada del país, que juegan un rol en la renovación y enriquecimiento del *pool* genético de las especies, es decir, de su conservación depende la viabilidad de muchas poblaciones de especies nativas.

El módulo regional del SIMBIO se plantea como un sistema de información que mejora la eficiencia y tiempos de respuesta a consultas e informa decisiones de agentes públicos y privados. En este sentido, facilita el acceso a la información a escala local y permite visibilizar los datos por provincia y por comuna.

El contenido presentado en la plataforma web del SIMBIO módulo regional se compone de centros temáticos operativos que interoperan con un geoportal (véase QR), realizado por el MMA en 2019, donde se encuentra toda la información espacial y cuenta con funcionalidades para análisis espaciales básicos.

3.2.1 *Contenidos temáticos del módulo regional*



Ecosistemas terrestres

Se presentan las unidades ecosistémicas terrestres a escala nacional, representadas por 106 pisos vegetacionales, caracterizados por Luebert y Plissock (2018). Para cada ecosistema, se hace una descripción general, de su composición florística, rango altitudinal y límites territoriales, categoría de conservación, especies observadas y registradas en la iniciativa el *Nodo Nacional de Información sobre Biodiversidad* (GBIF)¹¹, recursos documentales y fotográficos, el cruce con las otras temáticas y resultados de simulaciones climáticas.

Ecosistemas marinos

Se muestran las unidades ecosistémicas marinas a escala nacional, representadas por 92 unidades desde abisales, zonas de surgencias, costeros, fiordos, entre otras. Se hace descripción general del ecosistema, extensión y límites territoriales, especies observadas y registradas en GBIF, recursos documentales, y el cruce con las otras temáticas y resultados de simulaciones climáticas.

Áreas protegidas

Se presenta el *Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado* (SNASPE), así como iniciativas privadas y otras designaciones de conservación. Para las áreas protegidas del Estado, existen 208 unidades; para las iniciativas de conservación privadas, 234; y 635 unidades con otro tipo de designación de conservación. Las fichas de estas múltiples áreas de conservación presentan una descripción general, categorías de manejo y tipo de gestión, extensión territorial, ecosistemas existentes, especies observadas y registradas en GBIF, recursos documentales y fotográficos, simulaciones climáticas y el cruce con las otras temáticas.

Planes de Recuperación, Conservación y Gestión de Especies (RECOGE)¹²

Presenta los planes RECOGE informados en el sitio web del MMA¹³. Se hace una descripción general del objeto de conservación del plan, los recursos documentales y fotográficos, las amenazas identificadas, el plan de acción, los expedientes, los límites territoriales a los cuales está circunscrito el plan, y las simulaciones climáticas disponibles.

¹¹. Global Biodiversity Information Facility (GBIF) es una iniciativa intergubernamental, que surge en 1999 del grupo de trabajo de informática de la biodiversidad de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). El Ministerio del Medio Ambiente es la entidad signataria de GBIF en Chile y, por tanto, responsable de su implementación.

¹². Los planes RECOGE son instrumentos liderados por el Ministerio del Medio Ambiente para contribuir a la conservación de la fauna nativa del país y al desarrollo sustentable, mejorando el estado de conservación de las especies nativas a través de la coordinación con distintas instituciones del Estado, la sociedad civil, comunidades, academia y del sector privado.

¹³. Al momento de la publicación, el país cuenta con ocho planes RECOGE (ver <https://mma.gob.cl/biodiversidad/planes-de-recuperacion-conservacion-y-gestion-de-especies/>)

Restauración ecológica

Se presentan 95 iniciativas de restauración ecológica impulsadas por el MMA y privados. En sus fichas, se puede encontrar una descripción general, ecosistemas que abarca, acciones de gestión que se han implementado, límites territoriales, especies observadas y registradas en GBIF, recursos documentales y fotográficos, y simulaciones climáticas, así como el cruce con las otras temáticas.



Humedales

Se presenta el Inventario Nacional de Humedales del MMA con más de 1.400 registros, donde se puede buscar los humedales de interés según ubicación, características de formación, de uso, cercanía a centros urbanos y división administrativa (Región/Provincia/Comuna).

Actualmente, el módulo regional de la plataforma web SIMBIO existe en una versión beta, construida sobre tres formatos de información: estructurados en bases de datos, información espacial, y un repositorio documental y fotográfico. Además, permite acceder a la información ordenada en tres niveles: información regional (incluye las 16 regiones del país), provincial y comunal.

Esta primera versión permite visualizar la información disponible en la plataforma, en forma ordenada y sistematizada para una región en particular. Esto facilita la búsqueda de antecedentes sobre la biodiversidad, la normativa vigente relacionada con gestión ambiental y protección de la biodiversidad, así como acciones concretas de conservación de esta.

Desde la perspectiva de la administración regional, este módulo significa un avance que agiliza y hace más expedito el acceso a la información y cartografía. Como módulo en desarrollo por parte del MMA, se espera que, en la medida que se actualicen los contenidos temáticos con los respectivos antecedentes regionales, se agilicen las respuestas a consultas por Ley de Transparencia¹⁴, así como la evaluación de proyectos en el marco

¹⁴ Ley 20285 sobre *Transparencia de la Función Pública y de Acceso a la Información de la Administración del Estado*. Este derecho funciona como una llave que permite a cualquier persona acceder a la información pública, es decir, aquella que se encuentra en poder de cualquier institución pública de conservación de las especies nativas a través de la coordinación con distintas instituciones del Estado, la sociedad civil, comunidades, academia y del sector privado.

del *Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)*, en la medida que haya acceso rápido a antecedentes relevantes para las áreas de influencia de dichos proyectos. También, se hará más robusta la evaluación de planes de compensación, la actualización de estrategias de biodiversidad, estrategias de resiliencia y mitigación ante el calentamiento global, y el seguimiento en proceso de declaratorias de humedales urbanos, entre otros. Lo anterior, debido a que el módulo regional del SIMBIO está diseñado para responder preguntas como:



El módulo regional no solo responderá estas preguntas, sino que también otorgará acceso directo a los informes y documentos oficiales que respaldan las respuestas.

3.2.2 Guía de uso del módulo SIMBIO RMS

El SIMBIO RMS se estructura a través de submódulos. Por ejemplo, para llegar a la ficha regional de la Región Metropolitana de Santiago, se debe ir a la web del SIMBIO, en la página principal "Buscar por temática", donde se expande la temática "Regional" para poder acceder al módulo.

Pasos:

- En la web del SIMBIO, aparecerá la sección "Regional".
- Al pinchar esta sección o tarjeta, el sistema lleva al módulo regional.
- En el módulo regional, se desplegarán inicialmente las barras de búsqueda y tres tarjetas: Regiones / Provincias / Comunas

De esta forma, el SIMBIO RMS, permitirá ingresar a las fichas de información y, al seleccionar, una de las secciones, por ejemplo, "Provincias", se accede a las diversas pestañas en las que se ha organizado la información, pudiendo personalizar la búsqueda.

Búsqueda regional simple

En el SIMBIO se puede realizar una búsqueda simple para acceder a la información por nombre o código para cada región, provincia o comuna de Chile.

Pasos:

- En la página principal del módulo, aparecerá la barra de búsqueda simple que opera por nombre.
- Se podrá ingresar nombre o código de la región, provincia o comuna que se busca y apretar el botón "Buscar".

- Como resultado se mostrarán todas las tarjetas encontradas, indicando a qué categoría corresponde (región, provincia o comuna).
- Al presionar en la tarjeta que se quiere encontrar, esta llevará a la ficha del elemento correspondiente.

Búsqueda avanzada

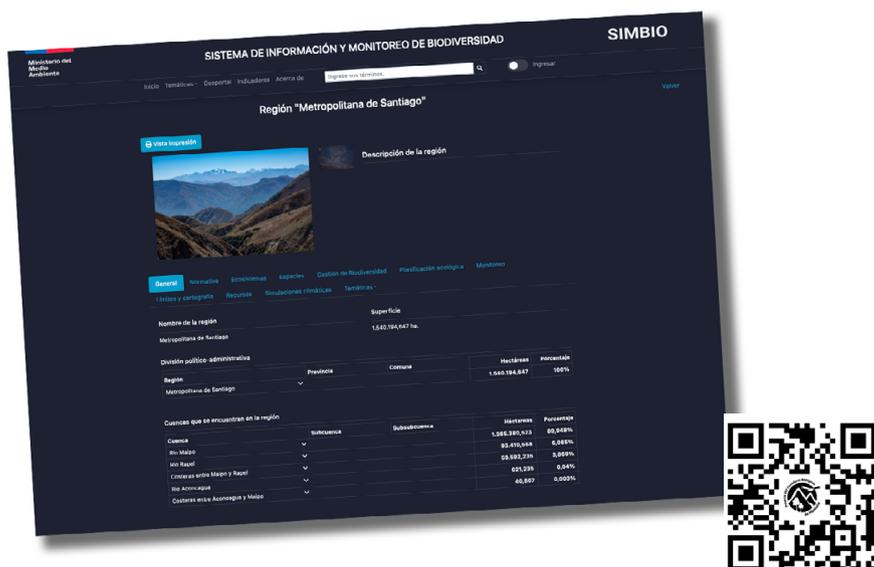
El sitio también contará con una pestaña de búsqueda avanzada para poder elegir las fichas de interés, a partir de listas de opciones jerarquizadas de Región / Provincia / Comuna.

Pasos:

- En la página principal del módulo al lado de pestaña “Búsqueda simple”, aparecerá opción de “Búsqueda avanzada”.
- En la pestaña de “Búsqueda avanzada” aparecerán tres casillas de listas de opciones: Región / Provincia / Comuna.
- Al elegir una región, las listas de provincias y comunas se filtran solo para esta región.
- Al elegir una provincia, las listas de comunas se filtran y se muestran solo comunas correspondientes a esta provincia (filtro jerarquizado).
- Después de apretar el botón “Buscar”, se encontrarán las tarjetas de las fichas de elementos buscados.

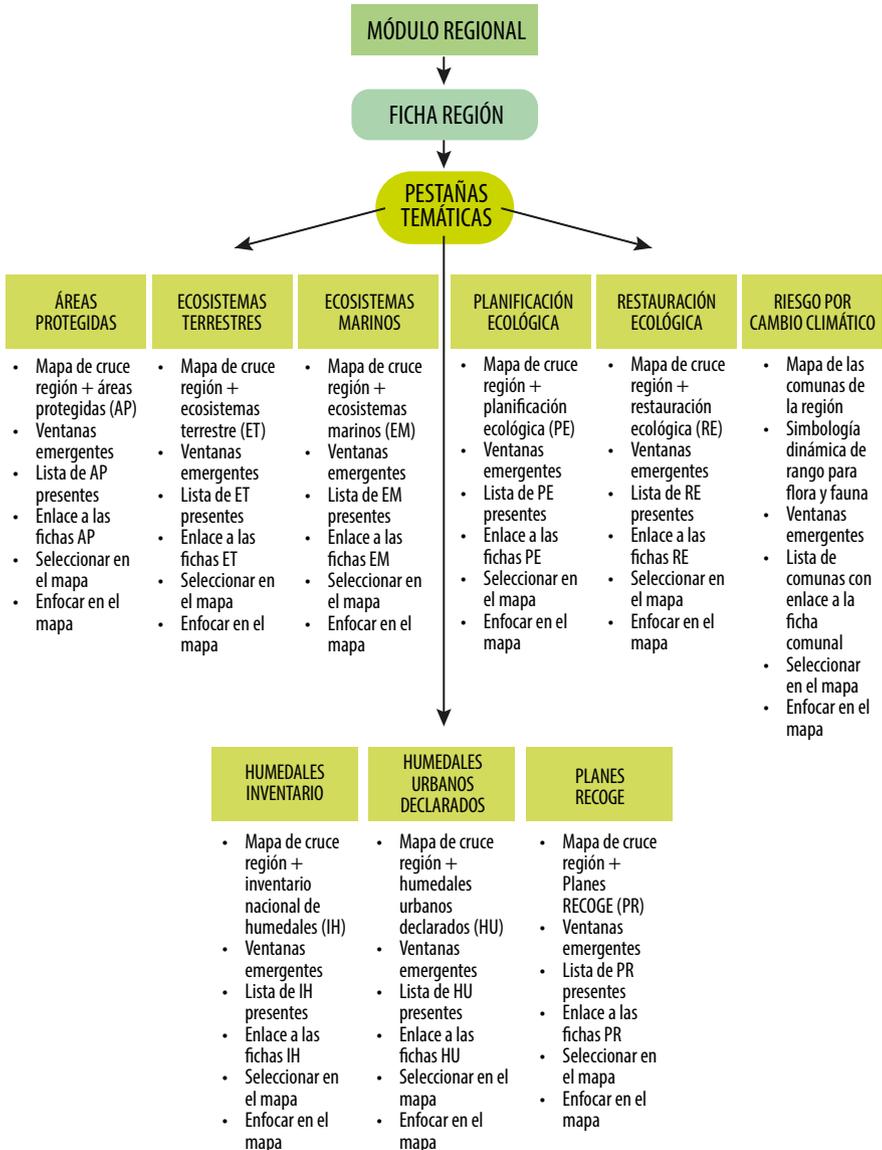
Adicionalmente, se incorporará un filtro y el mecanismo para descarga de comunas de tipo de designación costera. Además, las búsquedas se van a poder realizar por temática o a través de un buscador inserto en la parte superior derecha del sitio (ver Figura 9).

Figura 9. Home del sitio SIMBIO RMS



A continuación, en la Figura 10, se presenta un diagrama de flujo del módulo regional SIMBIO, que da cuenta de la estructura del sitio.

Figura 10. Diagrama de flujo del módulo regional SIMBIO



Fuente: Elaboración propia Proyecto GEF Montaña

4. Lecciones aprendidas

- El *Reporte 2020 Estado de la biodiversidad y servicios ecosistémicos. Expresión regional del SIMBIO Región Metropolitana de Santiago* (MMA y ONU Medio Ambiente, 2020a) representa la primera iniciativa piloteada del país para establecer una línea base de indicadores a escala regional para monitorear el estado de la biodiversidad y su potencial para proveer diversos beneficios ecosistémicos. Esta línea de base, que se realizó entre las primaveras de 2017 y 2018, representa un paso fundamental para el monitoreo posterior, por ello, se levantaron indicadores fáciles de implementar, de hacer seguimiento, escalables y replicables en otras regiones del país. El siguiente desafío sería, entonces, dar continuidad y actualizar los indicadores de biodiversidad a 2022 en el módulo regional de la RMS en la plataforma del SIMBIO.
- El principal aporte del Reporte 2020 es la generación de información respecto del estado de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos a escala comunal en la RMS. El piloto de monitoreo de la biodiversidad a escala regional, permitió realizar un análisis de los resultados y sus respectivas conclusiones a escala local, facilitando y fortaleciendo iniciativas de gobernanza y gestión ambiental local. Por ello, es de interés del Proyecto GEF Montaña y del Ministerio del Medio Ambiente, que esta información promueva una toma de decisiones basada en evidencias y permita generar políticas, programas y acciones concretas territoriales que se nutran de antecedentes robustos y actualizados.
- Dada la contrastante realidad entre las regiones de Chile, donde el norte alberga al desierto más árido del mundo y el sur a los más australes y exuberantes bosques templados lluviosos, es relevante que el diseño y elección de indicadores que reporten el estado de la biodiversidad y las presiones a las que está sometida, se desarrolle en un trabajo estrecho con las administraciones regionales. Es un desafío para esta “loca biogeografía de Chile” y requiere de la articulación cuidadosa con los actores involucrados en el programa de monitoreo regional y, en particular, del compromiso de las administraciones. Así, estas podrán ver fortalecidas sus gestiones en torno a la conservación de la biodiversidad y los beneficios que aporta, a través de una herramienta con un diagnóstico continuo y actualizado de la condición de los ecosistemas y de cómo las iniciativas de gestión pueden contener y reducir las amenazas. En este sentido, dada la experiencia del Proyecto GEF Montaña en este ensayo de monitoreo local, la palabra clave es “colaboración” entre entidades públicas, privadas, ciencia participativa y academia, quienes pueden responder a las exigencias de la crisis climática.
- Contar con datos de biodiversidad en series de largo plazo a nivel de especies y de ecosistemas, con mirada nacional, regional y local, es una necesidad planteada por las personas participantes en los diversos talleres realizados por el Proyecto GEF Montaña durante el diseño del piloto regional de monitoreo. En esta línea, es de interés que esta experiencia quede expresada y se mantenga en el tiempo, en un módulo de monitoreo de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos dentro de la plataforma del SIMBIO.
- Es necesario contar con indicadores socioculturales relacionados con la biodiversidad, los que deberían permitir evaluar la percepción y actitudes de la sociedad civil hacia la protección de la biodiversidad y gestión pública y privada de la misma.
- Con la reciente ratificación por Chile del *Acuerdo de Escazú*, herramientas como las ensayadas por el Proyecto GEF Montaña en este piloto para la región Metropolitana de monitoreo e información de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, presentan una oportunidad estratégica para ser un referente y dar cumplimiento a dicho compromiso de carácter internacional.



5. Bibliografía

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2018). **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**. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43595/1/S1800429_es.pdf
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2016). **Evaluaciones del desempeño ambiental: Chile 2016**. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40308/S1600413_es.pdf
- Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) y Corporación Nacional Forestal (CONAF). (2013). **Catastro de vegetación de bosque nativo**. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/10716/CONAF-0050.pdf?sequence=1>
- Corporación Nacional Forestal (CONAF). (2016, marzo). Análisis de emisiones y absorciones de carbono forestal en el bosque mediterráneo de Chile. **Nota informativa 3 de la ENCCRV**. <https://www.enccrv.cl/nota-informativa-3>
- Gobierno Regional de la Región Metropolitana de Santiago (GORE RMS). (2012, 6 de julio). **Actualización carta de uso de suelo en la Región Metropolitana de Santiago. Etapa III: Informe final**. https://www.gobiernosantiago.cl/wp-content/uploads/2014/doc/informacion/Actualizacion_Carta_Uso_de_Suelo_en_la_Region_Metropolitana_2012.pdf
- Luebert, F. y Plissock, P. (2018). **Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile**. (2a ed.). Editorial Universitaria.
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA) y Programa de las Naciones para el Medio Ambiente (ONU Medio Ambiente). (2018). **Determinación del servicio ecosistémico de purificación del aire en el área del proyecto GEF Montaña**. Estudio encargado a Marcelo Miranda, Cinnamon Dobbs, Magdalena Olave y Pilar Olave del Departamento de Ecosistema y Medio Ambiente de la Pontificia Universidad Católica de Chile y financiado por el Proyecto GEFSEC ID 5135 del MMA y ONU Medio Ambiente. Santiago, Chile. <https://gefmontana.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/02/INFORME-AIRE-Gefmontana.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA) y Programa de las Naciones para el Medio Ambiente (ONU Medio Ambiente). (2020a). **Reporte 2020 de estado de la biodiversidad y servicios ecosistémicos. Expresión regional del SIMBIO Región Metropolitana de Santiago**. Desarrollado y financiado por el Proyecto GEFSEC ID 5135 del MMA y ONU Medio Ambiente. Santiago, Chile. https://gefmontana.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/09/REPORTE-SIMBIO-RMS_gefmontana2.pdf
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA) y Programa de las Naciones para el Medio Ambiente (ONU Medio Ambiente). (2020b). **Resumen para tomadores de decisiones: Reporte 2020 SIMBIO RMS**. Desarrollado y financiado por el Proyecto GEFSEC ID 5135 del MMA y ONU Medio Ambiente. Santiago, Chile. https://gefmontana.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/09/RESUMEN-SIMBIO-RMS_gefmontana2.pdf

- Ministerio del Medio Ambiente (MMA) y Programa de las Naciones para el Medio Ambiente (ONU Medio Ambiente). (2020c). **Estimación de las emisiones y capturas de carbono de la vegetación nativa en el área del proyecto GEF Montana**. Encargado a Javier Cano Martín y financiado por el Proyecto GEFSEC ID 5135 del MMA y ONU Medio Ambiente. Santiago, Chile. https://gefmontana.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/05/Estudio-captura-carbono_gefmontana.pdf
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA) y Programa de las Naciones para el Medio Ambiente (ONU Medio Ambiente). (2022). **Resumen ejecutivo. Protocolo de obtención de biotopos aplicado al área del proyecto GEF Montaña**. Elaborado y financiado por el Proyecto GEFSEC ID 5135 del MMA y ONU Medio Ambiente. Santiago, Chile. https://gefmontana.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/10/Resumen-Ejecutivo_Protocolo-Biotopos_gefmontana.pdf
- Noss, R. F. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology*, 4(4), 355–364. <http://www.jstor.org/stable/2385928>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (1992). **Convenio de la diversidad biológica**. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Pliscoff, P. (2020, agosto). **Escenarios hídricos 2030. Análisis del estado actual de los ecosistemas terrestres asociados a dos cuencas en Chile central: Maipo y Maule**. Fundación Chile. <https://fch.cl/publicacion/analisis-del-estado-actual-de-los-ecosistemas-terrestres-asociados-a-dos-cuencas-en-chile-central-maipo-y-maule/>