


Al servicio
de las personas
y las naciones

Proyecto Creación de un Sistema Nacional
Integral de Áreas Protegidas para Chile:
Estructura Financiera y Operacional



GUÍA METODOLÓGICA DE LA HERRAMIENTA PARA EL CÁLCULO DE LA REPRESENTATIVIDAD ECOSISTÉMICA DEL SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS (SNAP)

John Treimun Ríos
Danisa Moya Ramírez
Santiago, Chile
Junio 2016

Contenido

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Resumen ejecutivo | 3 |
| 2. | Fuentes de información cartográfica | 4 |
| 2.1. | Pisos vegetacionales..... | 4 |
| 2.2. | Usos de suelo antrópicos | 4 |
| 2.3. | Áreas Naturales componentes y potenciales del SNAP | 5 |
| 2.3.1. | <i>Categorías de Áreas Naturales terrestres componentes o potenciales del SNAP</i> | 5 |
| 2.3.2. | <i>Jerarquía de las categorías de Áreas Naturales del SNAP</i> | 5 |
| 3. | Metodología para obtener la representatividad ecosistémica | 6 |
| 3.1. | Formalización matemática para el cálculo de la representatividad ecosistémica | 6 |
| 3.2. | Escenarios de representatividad ecológica | 7 |
| 4. | Herramienta automatizada para calcular la representatividad ecológica en el SNAP | 8 |
| 4.1. | Procesos involucrados en el cálculo de la representatividad potencial para el escenario 1..... | 9 |
| 4.2. | Procesos involucrados en el cálculo de los otros escenarios de representatividad potencial .. | 9 |
| 5. | Ejemplo práctico del uso de la herramienta SIG diseñada..... | 11 |
| 6. | Limitaciones y recomendaciones | 14 |

1. Resumen ejecutivo

La presente guía constituye un material para la divulgación técnica del modelado cartográfico utilizado en el diseño y la construcción de la herramienta que permite el cálculo de la representatividad ecológica en las áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado (SNAP) y otras áreas naturales de interés para este sistema. La metodología utilizada para la elaboración de la herramienta se basó en el documento de trabajo del Proyecto GEF SNAP Creación de un Sistema Nacional de Áreas Protegidas para Chile; Estructura Financiera y Operacional, del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), titulado “Representatividad de Ecosistemas Terrestres en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas y Sitios Prioritarios” (Moya, Herreros & Ferreyra, 2014)¹.

Uno de los objetivos estratégicos del SNAP es crear las condiciones y liderar estrategias para incrementar la representatividad ecosistémica, aportando en el proceso institucional para la identificación de ecosistemas con escaso nivel de representación en el actual sistema y su nivel de representatividad en otro tipo de áreas protegidas y sitios prioritarios. La cuantificación de la representatividad ecosistémica resulta apta para actuar como un indicador y evaluar la efectividad que posee el sistema de áreas protegidas en dar protección a los diferentes ecosistemas del territorio.

El diseño y construcción de la herramienta consideró como variables de entrada la presencia de los tipos de vegetación y las especies dominantes relacionadas con un ambiente bioclimático específico, contenidos por la superficie de las áreas naturales componentes o potenciales del SNAP, según su categoría de protección. La dificultad asociada a la inexistencia de insumos cartográficos para cada ecosistema, con cobertura nacional, fue resuelta utilizando como un proxy a los pisos vegetacionales.

Los resultados que entrega la herramienta son de dos tipos: el primer tipo corresponde a las coberturas asociadas a los escenarios de protección previstos por el SNAP y sus atributos espaciales; mientras que el segundo tipo corresponde a la síntesis tabulada de todos los escenarios según nivel de protección, incluyendo las superficies de cada piso vegetacional y la representatividad ecológica asociada al área natural componente o potencial del SNAP. Se utilizó la cobertura de pisos vegetacionales remanente, generada a partir de la extracción de la superficie nacional con uso antrópico de los pisos vegetacionales.

La herramienta fue diseñada en ArcGis 10.3 (ESRI), *Model Builder*, integrando diversos procesos espaciales y siendo construida para ser compatible con versiones anteriores del software mencionado. De esta forma, es posible realizar cambios en la herramienta de manera rápida y eficiente, siendo adaptable a los diversos insumos y resultados requeridos. No obstante, aunque ArcGis es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de amplia difusión internacional en el ámbito de las Ciencias de la Tierra, los costos asociados a las licencias de sus herramientas resultan ser una barrera de entrada en la implementación de la solución diseñada.

La actualización continua de las coberturas de entrada es uno de los principales requisitos del uso periódico de la herramienta SIG diseñada, considerando los cambios a nivel del listado de áreas naturales relevantes en el SNAP y los cambios de uso de suelo que se producen entre los periodos. A continuación, se presentan los principales aspectos de las etapas, actividades y procesos involucrados en el cálculo de la representatividad ecosistémica, describiéndose los insumos base, la formulación

¹ Fuente: http://bdrnap.mma.gob.cl/recursos/privados/Recursos/CNAP/GEF-SNAP/Moya_Herreros_Ferreyra_2014_f.pdf

matemática utilizada para cada escenario previsto y la solución operativa diseñada para cada uno de ellos.

2. Fuentes de información cartográfica

Los insumos utilizados en el cálculo de la representatividad ecosistémica en las áreas naturales del SNAP, correspondieron a un conjunto de coberturas vectoriales provistas por la institucionalidad ambiental (MMA). Su elaboración es descrita con mayor profundidad en el documento guía del presente material de difusión técnica (Moya, Herreros y Ferreyra, 2014).

Las coberturas base se pueden agrupar en tres categorías: los pisos vegetacionales, los usos de suelo antrópicos y las Áreas Naturales del SNAP². Los aspectos principales de cada una de ellas se describen en los siguientes puntos.

2.1. Pisos vegetacionales

Los Pisos Vegetacionales (PV) corresponden a los espacios caracterizados por un conjunto de comunidades vegetales con una fisionomía y especies dominantes asociadas a un piso bioclimático específico. Sintetizan la respuesta de la vegetación, en términos de su fisionomía y especies dominantes, a la influencia del mesoclima Luebert y Pliscoff (2006)³.

En el documento guía (Moya, Herreros & Ferreyra, 2014) se entregan especificaciones sobre los tipos de vegetación y especies dominantes asociadas. Se utilizó la cobertura con los pisos vegetacionales a nivel nacional, provista por el MMA.

2.2. Usos de suelo antrópicos

La cobertura de usos de suelo antrópicos a nivel nacional fue provista por el MMA, siendo generada a partir de la integración de los diversos usos de suelo asociados a las actividades humanas. A partir de este insumo se generó la cobertura con los pisos vegetacionales remanentes (PVR), consistente en la extracción del uso antrópico a la cobertura con los PV. En el cuadro 1 se exponen los usos antrópicos considerados, junto a la superficie y su fuente de información.

Cuadro 1: Usos antrópicos considerados en la presente metodología.

| Usos antrópicos | Superficie (ha) | Fuente de información |
|--------------------------|-----------------|-----------------------|
| Urbano o industrial | 354.355 | MMA (BD-OT) |
| Minería industrial | 384.986 | MMA (BD-OT) |
| Plantaciones de arbustos | 45.490 | MMA (BD-OT) |
| Plantaciones forestales | 3.147.479 | MMA (BD-OT) |
| Red vial | 40.680 | MMA (BD-OT) |
| Rotación cultivo pradera | 2.025.073 | MMA (BD-OT) |
| Terrenos agrícolas | 1.284.148 | MMA (BD-OT) |
| Silvoagropecuario | 124.968 | SAG |
| Praderas antrópicas | 1.688.610 | MMA |

² Para efectos de esta guía metodológica se entenderá como “Áreas Naturales del SNAP”, el conjunto de áreas protegidas del Estado que la componen y otras áreas posibles de incorporar al SNAP, que reciben algún tipo de protección o priorización ecológica.

³ Luebert, F. & Pliscoff, P. (2006) Sinopsis Bioclimática y Vegetacional de Chile. Santiago, Chile: Editorial Universitaria.

Fuente: Moya, Herreros y Ferreyra, 2014.

2.3. Áreas Naturales componentes y potenciales del SNAP

Las coberturas que contienen a las Áreas Naturales (AN) se encuentran caracterizadas por su nivel de protección y sistema de planificación y gestión de áreas naturales con alto valor ecológico. De esta forma, es posible establecer una jerarquía entre las categorías de AN consideradas en el SNAP. A continuación, se describen algunos aspectos relevantes de las categorías consideradas y su jerarquía.

2.3.1. Categorías de Áreas Naturales terrestres componentes o potenciales del SNAP

En el cuadro 2 se resumen las categorías de Áreas Naturales consideradas. Tal como se puede apreciar, el grupo de Áreas Protegidas componentes del Sistema Nacional de Áreas Silvestres del Estado (SNASPE) se encuentra conformado por los Parques Nacionales, las Reservas Nacionales, las Reservas Forestales y los Monumentos Nacionales.

Los Santuarios Naturales son también Áreas Protegidas por el Estado, pero no pertenecen al SNASPE, siendo solo parte del SNAP. Los Bienes Nacionales Públicos, las Iniciativas de Conservación Privada y los Sitios Prioritarios no son Áreas Protegidas formales, diferenciándose según el tipo de protección que ostentan.

Cuadro 2: Categorías de Áreas Naturales, tipo de protección y Sistema de Áreas Protegidas.

| Categoría Área Natural | Tipo de protección | Cantidad de AP | Superficie (Ha) | Sistema de Áreas Protegidas |
|---|-------------------------|----------------|-----------------|--|
| Parque Nacional (PN) | Área Protegida | 40 | 9.354.872,05 | <ul style="list-style-type: none"> – SNASPE – SNAP |
| Reserva Nacional (RN) | | 26 | 767.667,67 | |
| Reserva Forestal (RF) | | 22 | 4.188.782,62 | |
| Monumento Natural (MN) | | 16 | 35.710,09 | |
| Santuario Natural (SN) | | 42 | 497.075,41 | |
| Bienes Nacionales Públicos (BNP) | Protección Oficial | 55 | 609.928,73 | – No aplica |
| Iniciativas de Conservación Privada (ICP) | Protección Privada | 234 | 1.286.897,92 | |
| Sitios Prioritarios SEA | Protección Condicionada | 64 | 4.634.044,86 | |
| Sitios Prioritarios | Sin Protección Oficial | 268 | 9.954.296,92 | |

Elaboración propia.

2.3.2. Jerarquía de las categorías de Áreas Naturales del SNAP

La jerarquía de las categorías de áreas naturales componentes del SNAP se determinó mediante el tipo de protección y el Sistema de Áreas Protegidas al que perteneciera (cuadro 3). La protección oficial corresponde a la brindada por el Estado, imponiendo restricciones estrictas a los usos del suelo que pueden desarrollarse en el interior de las áreas protegidas.

La protección privada la brindan los propietarios de los predios particulares destinados a la conservación de la biodiversidad. La protección condicionada es similar a la oficial, pero sin restricciones específicas o estrictas, permitiendo otros usos de forma condicionada. Las áreas naturales sin protección son aquellas sin protección estatal ni privada, sin restricciones ni

condicionamientos de usos de suelo, pero que han sido priorizadas por la institucionalidad ambiental en base a su valor ecológico

Cuadro 3: Áreas Naturales y su jerarquía, tipo de protección y sistema de áreas protegidas.

| Áreas Naturales | Atributos | Jerarquía |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------|
| Áreas Protegidas | Protección oficial – SNASPE, SNAP | 1° |
| Santuario Natural | Protección oficial – SNAP | 2° |
| Bienes Nacionales Públicos | Protección oficial | 3° |
| Iniciativas de Conservación Privada | Protección Privada | 4° |
| Sitios Prioritarios SEA | Protección Condicionada | 5° |
| Sitios Prioritarios | Sin Protección oficial | 6° |

Elaboración propia.

3. Metodología para obtener la representatividad ecosistémica

La metodología utilizada para el cálculo de la representatividad ecosistémica de las áreas naturales componentes o potenciales del SNAP, se realizó considerando la superficie protegida por cada categoría de área natural, diferenciada según la jerarquía definida para cada categoría del SNAP (cuadro 3). Las superficies de estas áreas se superponen parcialmente, por lo que se deben establecer sus aportes netos al SNAP, contabilizando el área superpuesta solo una vez en la jerarquía de mayor protección.

La herramienta SIG diseñada contempla dos modelos: el primero permite calcular la representatividad ecosistémica potencial, considerando la superficie total de los pisos vegetacionales (PV) contenidos en las áreas naturales del SNAP; mientras que el segundo modelo permite calcular la representatividad ecosistémica actual, obtenida con los pisos vegetacionales remanentes (PVR), sin considerar el uso antrópico del suelo. En el presente documento solo se describen los procesos involucrados en la obtención de la representatividad potencial, debido a que en ambos modelos éstos son similares.

A continuación, se describe la formalización matemática de la metodología utilizada para la representatividad potencial de las áreas componentes del SNAP, junto a la especificación de los escenarios previstos de representatividad ecosistémica.

3.1. Formalización matemática para el cálculo de la representatividad ecosistémica

La formalización matemática se realizó con el fin de facilitar futuras actualizaciones y adaptaciones de la herramienta SIG diseñada para el cálculo de la representatividad ecosistémica. Tal como se mencionó, las áreas naturales componentes y potenciales del SNAP pueden presentar superposición espacial, por lo que para el cálculo de la representatividad ecosistémica en cada escenario previsto se debe obtener el aporte neto de la categoría de área natural de menor jerarquía. El aporte neto de las áreas naturales del SNAP de menor jerarquía que las áreas del SNASPE se incorporó mediante el uso de la siguiente expresión:

$$SN_n = AN_n - (U_{i=1}^{n-1} AN_i), \forall n > 1 \quad (1)$$

Donde:

AN_i = Cobertura de la categoría de Áreas Naturales con jerarquía i .

SN_n = Cobertura con la Superficie Neta que aporta al SNAP la categoría de áreas naturales n .

La representatividad ecosistémica consideró seis escenarios de protección, contruidos mediante la agregación espacial de las superficies netas obtenidas a partir de las categorías de áreas naturales del SNAP.

Las expresiones utilizadas para calcular la representatividad ecosistémica potencial fueron las siguientes formulas recursivas:

$$E_1 = PV \cap AN_1 \quad (2)$$

$$E_n = E_{n-1} \cup [PV \cap (AN_n - \cup_{i=1}^{i=n-1} AN_i)], \forall n > 1 \quad (3)$$

Considerando que:

E_n = Cobertura del Escenario de representatividad de la categoría de áreas naturales con jerarquía n .

PV = Cobertura con los pisos vegetacionales.

La expresión (2) permite calcular el escenario de representatividad ecosistémica potencial directamente para la categoría SNASPE, a través de la intersección espacial de las coberturas con los pisos vegetacionales y la cobertura con las áreas protegidas del sistema. En base a este primer cálculo es posible obtener todos los otros escenarios de forma recursiva utilizando la expresión (3). La representatividad ecosistémica actual se obtuvo de manera semejante, utilizando las expresiones:

$$E_1 = PVR \cap AN_1 \quad (4)$$

$$E_n = E_{n-1} \cup [PVR \cap (AN_n - \cup_{i=1}^{i=n-1} AN_i)], \forall n > 1 \quad (5)$$

En donde:

PVR = Cobertura con los pisos vegetacionales remanentes, sin los usos de suelo antrópicos.

3.2. Escenarios de representatividad ecologica

Los escenarios de representatividad ecosistémica previstos según las jerarquías de las categorías de áreas naturales componentes del SNAP, consistieron en la superposición secuencial de las coberturas de cada categoría y en la extracción de las contribuciones netas de cada una de ellas al sistema. A continuación, se detallan los aspectos relevantes de cada escenario caracterizado.

- Escenario 1: Áreas Naturales del SNASPE

Considera a las coberturas con las superficies de los ecosistemas protegidos por el SNASPE (jerarquía 1) y la cobertura con los pisos vegetacionales para calcular la representatividad ecosistémica potencial (expresión 2). Para calcular la representatividad ecosistémica actual del SNASPE se utilizaron los pisos vegetacionales remanentes (expresión 4).

- Escenario 2: SNAP

El escenario 2 considera adicionalmente a la cobertura con las superficies de los ecosistemas protegidos por los Santuarios de la Naturaleza legalmente constituidos. De esta forma, a la cobertura generada para el escenario 1 se le agregan las superficies netas que aportan los Santuarios, fuera de las áreas naturales del SNASPE. La expresión utilizada para el cálculo de la representatividad potencial fue:

$$E_2 = E_1 \cup [PV \cap (AN_2 - AN_1)] \quad (6)$$

La representatividad ecosistémica actual se obtuvo reemplazando en la expresión (6) la cobertura con los pisos vegetacionales por la cobertura con los pisos remanentes (PVR).

- Escenario 3: Bienes Nacionales Protegidos

El escenario 3 agrega la superficie de ecosistemas vegetacionales remanentes en los bienes nacionales protegidos, los que tienen un decreto de auto destinación hacia la conservación de la biodiversidad. La expresión utilizada fue:

$$E_3 = E_2 \cup [PV \cap (AN_3 - \cup_{i=1}^{i=2} AN_i)] \quad (7)$$

La representatividad actual se calculó con los pisos vegetacionales remanentes.

- Escenario 4: Iniciativas de Conservación Privada

El escenario 4 contabiliza adicionalmente la superficie de ecosistemas vegetacionales remanentes que se encuentran en las Iniciativas de Conservación Privada (establecidas al año 2013). Su representatividad potencial se obtuvo con la expresión (8), mientras que la representatividad actual se calculó intercambiando los PV por los PVR.

$$E_4 = E_3 \cup [PV \cap (AN_4 - \cup_{i=1}^{i=3} AN_i)] \quad (8)$$

- Escenario 5: Sitios Prioritarios regidos por el SEA

El escenario 5 considera la agregación de la superficie en los ecosistemas vegetacionales remanentes que se encuentren en los sitios prioritarios y que son regidos por instructivos del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). Su representatividad ecosistémica potencial se obtuvo con la siguiente expresión:

$$E_5 = E_4 \cup [PV \cap (AN_5 - \cup_{i=1}^{i=4} AN_i)] \quad (9)$$

A su vez, la representatividad ecosistémica actual se calculó cambiando los pisos vegetacionales por los pisos remanentes (PVR).

- Escenario 6: Sitios Prioritarios para la Biodiversidad Regional

El escenario 6 contabiliza adicionalmente la superficie de los ecosistemas vegetacionales remanentes que se encuentren en los sitios prioritarios identificados por las estrategias de biodiversidad regionales (SEREMIS MMA). La representatividad potencial se obtuvo mediante la expresión:

$$E_6 = E_5 \cup [PV \cap (AN_6 - \cup_{i=1}^{i=5} AN_i)] \quad (10)$$

De igual forma que en los anteriores escenarios, para obtener la representatividad ecosistémica actual se utilizaron los pisos vegetacionales remanentes.

4. Herramienta automatizada para calcular la representatividad ecológica en el SNAP

El diseño y construcción de la herramienta SIG que permite calcular la representatividad ecosistémica en las categorías de áreas naturales del SNAP se realizó en el ambiente de programación gráfica de ArcGis 10.3 (ESRI), *Model Builder*.

Tal como se procedió en la formulación matemática, el diseño de la herramienta es recursivo, definiendo el primer escenario y sobre él construir los otros. Los principales procesos y aspectos relevantes en la construcción de la herramienta se exponen a continuación.

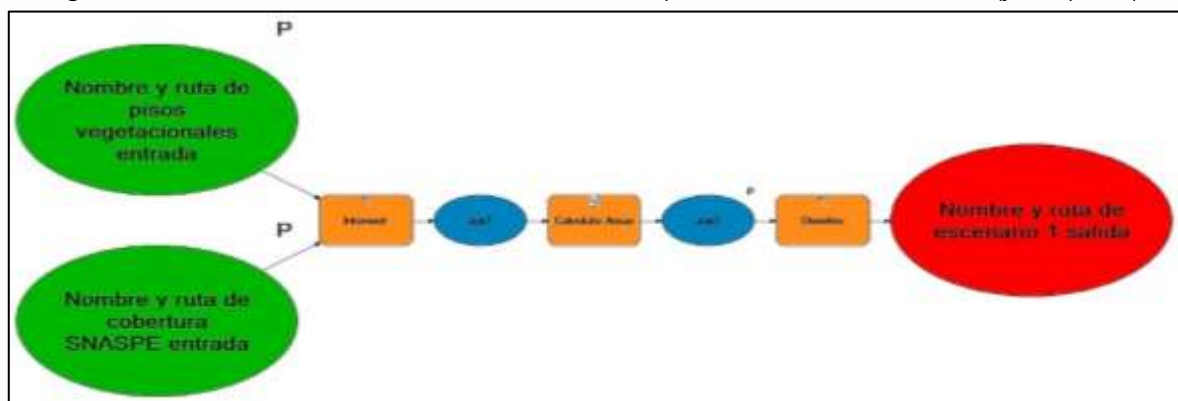
4.1. Procesos involucrados en el cálculo de la representatividad potencial para el escenario 1

Los procesos utilizados en obtener los resultados para el escenario 1 dan la base para el cálculo recursivo de los otros escenarios. Estos consistieron en tres procesos:

- i. La intersección de las coberturas con los Pisos Vegetacionales y la cobertura con las áreas protegidas del SNASPE. Se obtiene una cobertura poligonal con los Pisos Vegetacionales contenidos en las Áreas Protegidas del SNASPE, atributada con los nombres de cada entidad.
- ii. El cálculo de las superficies o polígonos generados en la intersección de coberturas. Se obtiene una cobertura poligonal con los nombres de las AP, los Pisos Vegetacionales contenidos y sus respectivas superficies.
- iii. La disolución o desagregamiento de los polígonos de generados, según las Áreas Protegidas del SNASPE y los Pisos Vegetacionales correspondientes, realizando la suma de las superficies en cada caso.

Como se mencionó, el modelado cartográfico se realizó en *Model Builder*, integrando tres herramientas de ArcGis, *Intersect*, *Calculate Areas* y *Dissolve*. La capa o cobertura de salida entrega al escenario de representatividad ecosistémica asociado a las Áreas Protegidas del SNASPE. El cálculo de los otros escenarios tiene como base al escenario 1, siendo también uno de los insumos de entrada para la recurrencia de la expresión (3). En la figura 1 se puede apreciar el modelado cartográfico diseñado para la obtención del escenario 1.

Figura 1: Procesos involucrados en el cálculo de la representatividad del SNASPE (jerarquía 1).



Elaboración propia.

4.2. Procesos involucrados en el cálculo de los otros escenarios de representatividad potencial

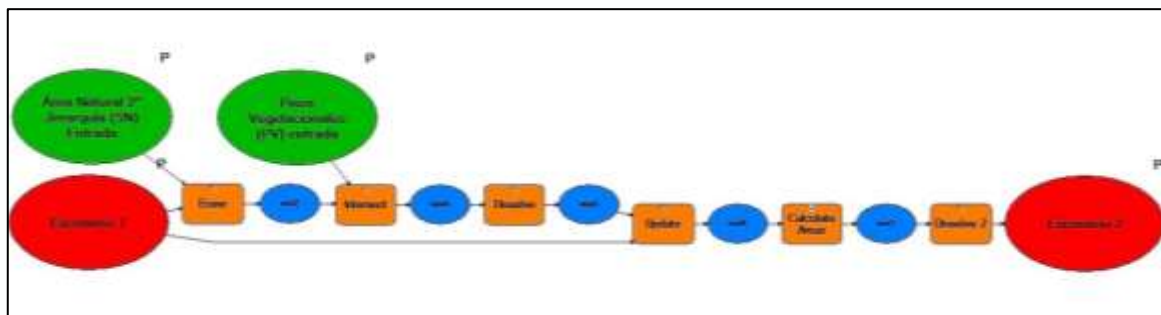
Los procesos utilizados para calcular los otros escenarios de representatividad potencial, similares a los utilizados para la obtención de la representatividad actual, consistieron en la siguiente cadena de procesos consecutivos:

- i. La extracción de la superficie solapada entre la cobertura con el escenario de jerarquía i y la categoría de Áreas Naturales de jerarquía $i+1$ (*Erase*).

- ii. Intersección de la cobertura con la superficie remanente asociada a la categoría de Áreas Naturales de jerarquía $i+1$ y los Pisos Vegetacionales (*Intersect*).
- iii. La disolución o desagregamiento de los polígonos de generados, según nombre de las áreas naturales y los pisos vegetacionales, realizando la suma de las superficies en cada caso (*Dissolve*).
- iv. Agregamiento o unión de la cobertura con los resultados de la disolución espacial, junto a la cobertura con el escenario de representatividad para la jerarquía i (*Update*).
- v. Cálculo las áreas de pisos vegetacionales contenidos en las jerarquías i e $i+1$ (*Calculate Areas*).
- vi. Se disuelve espacialmente la cobertura resultante del *Update*, nuevamente, según el nombre de Piso Vegetacional y área Natural componente del SNAP, realizando la suma de las superficies en cada caso (*Dissolve*).

En la figura 2 se expone el modelado cartográfico que resume la cadena de procesos involucrados en el cálculo de la representatividad ecosistémica. En ella se muestra la cadena ejemplificada con las jerarquías 1 y 2, correspondientes a las Áreas Protegidas del SNASPE y los Santuarios Naturales. Los pasos descritos son equivalentes a los utilizados para calcular los otros escenarios.

Figura 2: Modelado cartografico utilizado en el cálculo la representatividad ecositémica potencial.



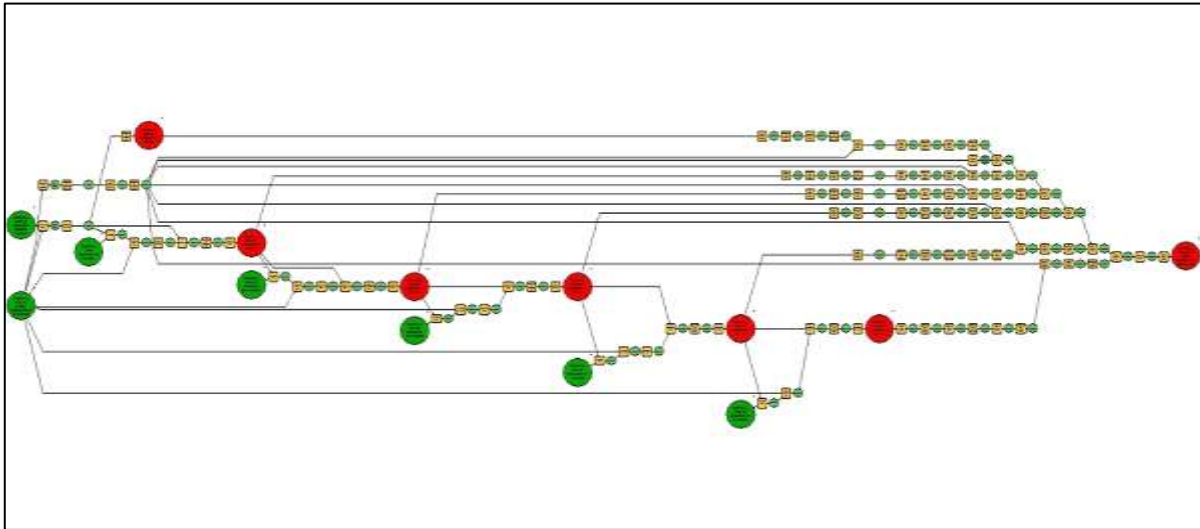
Elaboración propia.

Utilizando como base el modelado cartográfico expuesto en la figura 2, fue posible ensamblar secuencialmente los procesos asociados a cada escenario de representatividad. A esta cadena de procesos se le agrego otra capaz de agregar campos con las superficies de cada piso vegetacional contenido en cada escenario y Área Natural componente o potencial del SNAP, además de la representatividad para cada escenario diseñado.

En la figura 3 se puede apreciar la integración de las cadenas de procesamientos construidos para calcular la representatividad ecosistémica en las categorías de áreas naturales componentes o potenciales del SNAP.

Se requieren siete coberturas de entrada (Pisos vegetacionales y las coberturas asociadas a las categorías de áreas naturales del SNAP) (círculos verdes, figura 3). Éstas entregan como resultado, luego de las cadenas de procesamiento, seis coberturas relativas a los escenarios de representatividad (círculos rojos en la diagonal principal de la figura 3) y una tabla con el resumen de las superficies de los pisos vegetacionales contenidos en cada área natural componente del SNAP

Figura 3: Modelado cartográfico para el cálculo de la representatividad ecosistémica potencial.



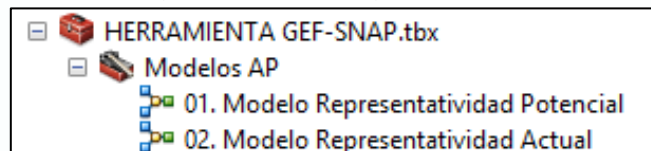
Elaboración propia.

5. Ejemplo práctico del uso de la herramienta SIG diseñada

La herramienta SIG diseñada y construida para el cálculo de la representatividad ecosistémica de las áreas naturales componentes del SNAP, fue creada para facilitar, automatizar y formalizar los procesos involucrados en la obtención cuantitativa del indicador. De esta forma, utilizando las ventajas de Model Builder (ArcGis) se construyeron dos modelos, uno capaz de calcular la representatividad ecosistémica potencial y otro para obtener la representatividad ecosistémica actual, utilizando los pisos vegetacionales remanentes.

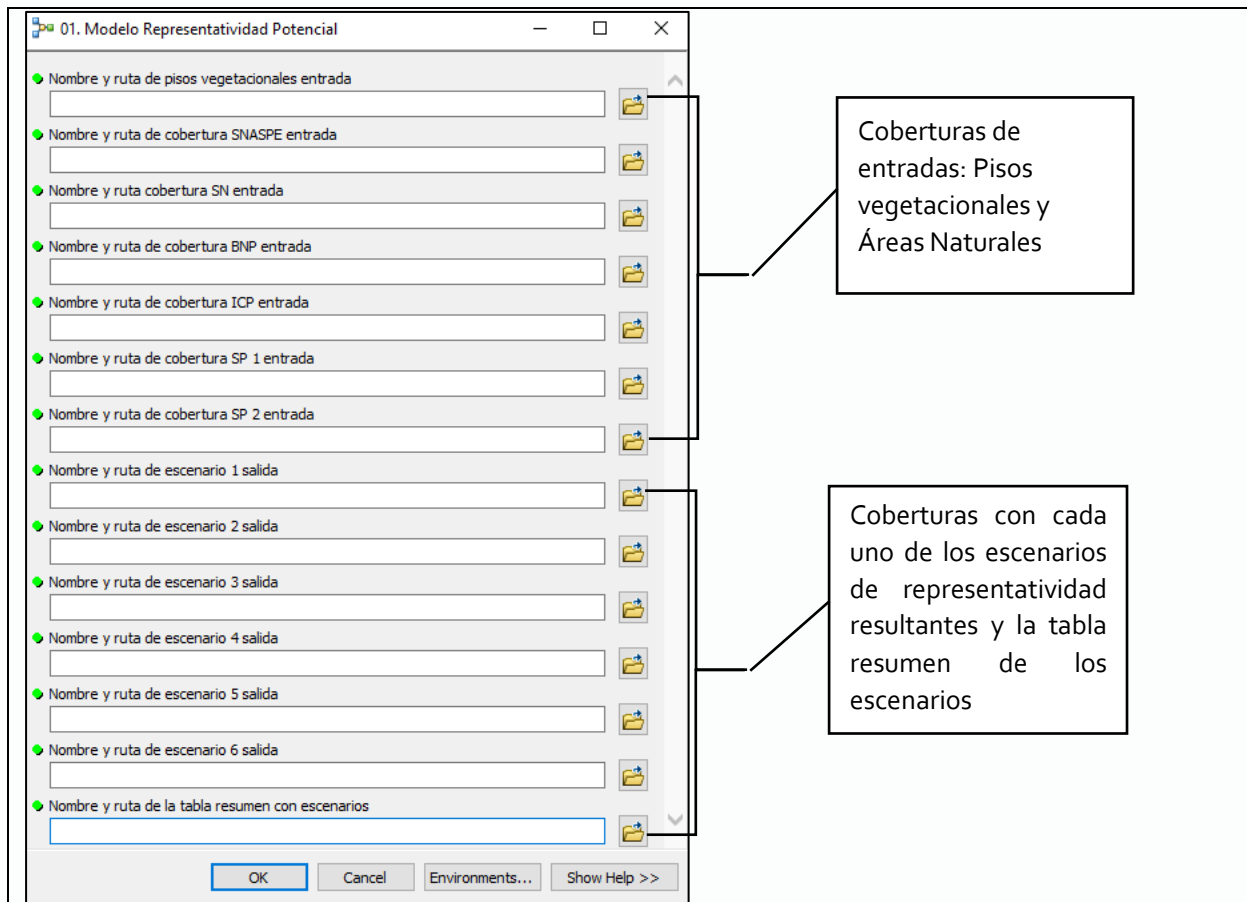
En la figura 4 se puede observar el contenido de la herramienta SIG diseñada y construida para el proyecto GEF-SNAP. Esta se encuentra compuesta por un *Toolset* que contiene los dos modelos construidos para el cálculo de la representatividad ecosistémica. Ambos modelos se activan dando doble clic sobre ellos, abriendo una interfaz gráfica en la que se pueden seleccionar los insumos de entrada y las destinaciones de los escenarios resultantes (figura 5).

Figura 4: Herramienta SIG diseñada para obtener la representatividad ecosistémica potencial y actual.



Elaboración propia.

Figura 5: Interfaz gráfica elaborada para el uso de la herramienta SIG construida.

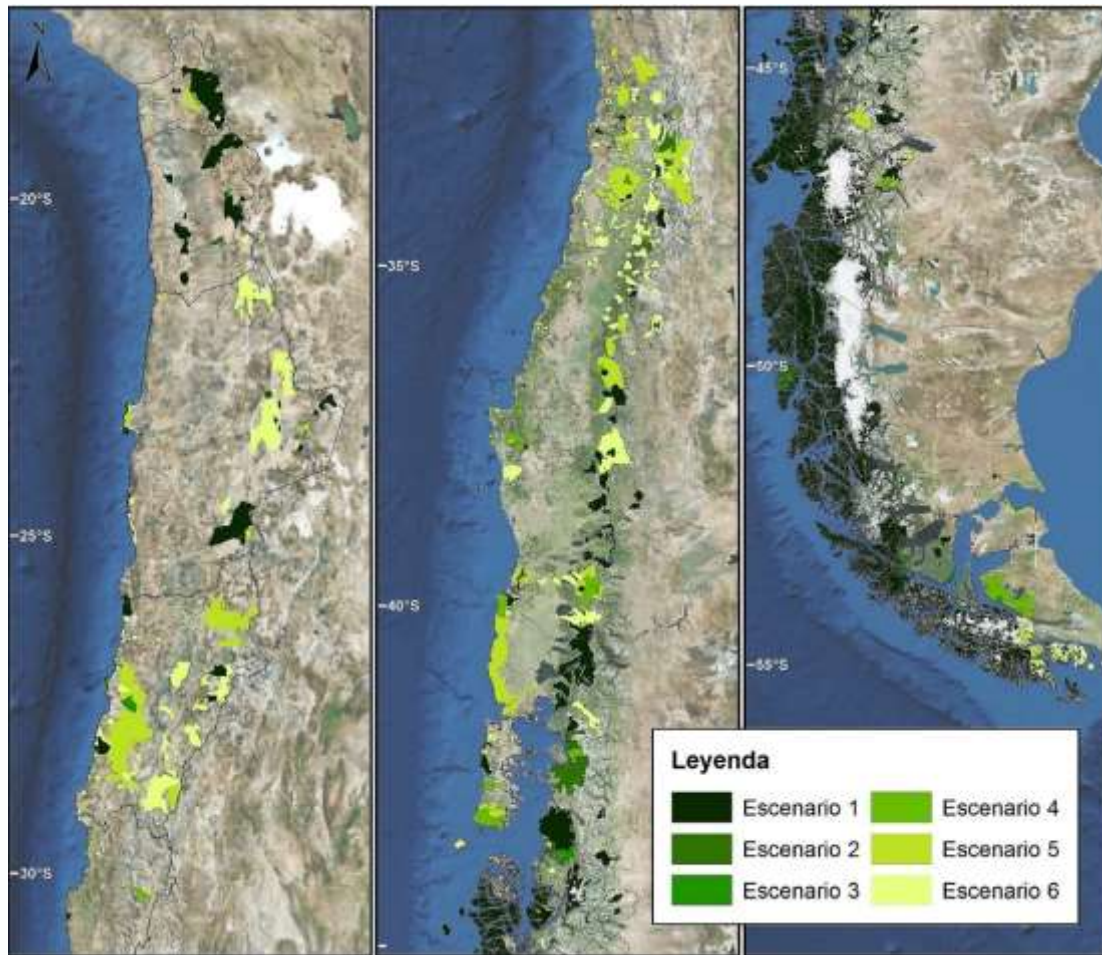


Elaboración propia.

En la figura 5 se pueden apreciar los detalles operativos de la herramienta SIG construida. En ella se muestra la interfaz gráfica elaborada para facilitar el uso de la herramienta diseñada, especificando la ruta y el nombre de las coberturas de entrada, así como también los relacionados con los resultados (escenarios y tabla resumen).

Utilizando las coberturas resultantes para cada escenario de representatividad ecosistémica se confeccionó la cartografía que aparece en la figura 6, en la que se puede apreciar la distribución y patrones de agrupación espacial de los distintos escenarios de representatividad potencial calculados.

Figura 6: Escenarios de representatividad ecosistémica potencial.



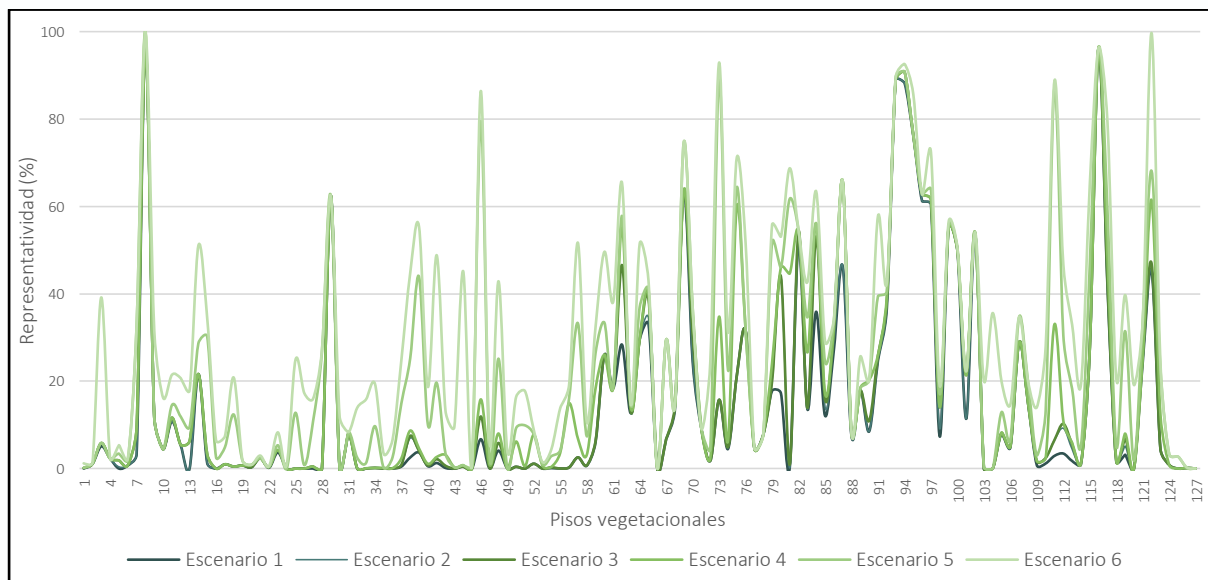
Elaboración propia.

En resumen, los pisos vegetacionales contenidos en los seis escenarios de protección fueron 127. De su superficie total, el escenario 1 contiene al 15,15%, el escenario 2 al 15,81%, el escenario 3 al 16,56%, el escenario 4 al 17,80%, el escenario 5 al 22,55% y el escenario 6 al 28,44%.

No obstante, este aumento de la representatividad ecosistémica potencial no es homogéneo en relación a la presencia de pisos vegetacionales, sino que es heterogéneo, agrupándose los mayores aumentos en determinados pisos.

Esto queda claro en el gráfico 1, en el que se puede ver que el indicador ecosistémico se mantiene similar en determinados pisos vegetacionales, mientras que en otros pisos se evidencian importantes variaciones.

Gráfico 1: Representatividades ecosistémicas potenciales de los pisos vegetacionales considerados en los escenarios de protección determinados.



Elaboración propia.

6. Limitaciones y recomendaciones

La herramienta SIG generada para el cálculo de las representatividades ecosistémicas potencial y actual para los escenarios de protección previstos, automatiza una serie de procesos secuenciales y recursivos, permitiendo la obtención del indicador ecosistémico, a nivel nacional, de forma eficiente y directa. No obstante, aún quedan aspectos que podrían mejorarse en pos de una mayor difusión e implementación en la institucionalidad y comunidad en general.

Entre las limitaciones que presenta el diseño de la herramienta se encuentran su incapacidad para incorporar directamente nuevas categorías de Áreas Naturales, o modificar las opciones de cálculo del indicador ecosistémico. Además, el entorno de programación de *Model Builder* presenta condicionamientos y restricciones de entrada para mantener la integridad de la herramienta, por lo que se requiere que su manejo sea realizado por un usuario con experiencia en el uso de modelos en ArcGis.

Cabe destacar que el correcto uso de la herramienta requiere de una jerarquización de las categorías de Áreas Naturales con algún tipo de protección, lo que no siempre es posible o claro, debiéndose definir y establecer con anterioridad a su implementación. Sin embargo, a partir de los elementos metodológicos que se han descrito en el presente documento, se espera que la actual herramienta SIG pueda ser mejorada y actualizada, tanto en su formulación metodológica, como en los insumos espaciales requeridos como entrada por los modelos construidos.

Finalmente, se recomienda que la formalización del cálculo de la representatividad ecosistémica sea integrada en el diseño de la herramienta SIG, utilizando los actuales softwares espaciales y estadísticos con base *Open Source* – como el software R -, lo que facilitaría el uso masivo de la herramienta, además de permitir la disminución de los costos asociados al pago de las licencias de ArcGis y aumentar la capacidad de computo en los geoprosesos.