

Protocolo para transformar matrices de datos en historias visuales útiles para informar a los gestores de áreas marinas protegidas

Autores: Silvia de Juan, Ana Ruiz-Frau, Andrés Ospina-Alvarez

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

ECOSER 2.0 da continuidad al proyecto ECOSER en el cual se evaluó la contribución de tres espacios marinos protegidos: Parque Natural Marítimo-Terrestre de Cabo de Gata-Níjar; Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia; y Reserva Marina de Interés Pesquero Os Miñarzos, para suministrar beneficios a la sociedad.

Esta nueva iniciativa avanzó en esta dirección implementando un análisis de meta-redes que permitió evaluar, en conjunto y para cada caso de estudio, la conexión entre: (1) los componentes ecológicos; (2) las funciones del ecosistema; (3) los actores sociales; (4) las acciones de gestión y (5) los impactos del cambio global.

El presente documento es una hoja de ruta para la obtención de matrices, grafos y redes de conectividad de los elementos conectados de un Área Marina Protegida AMP. El análisis de este tipo de redes permite el análisis y estudio de la efectividad de dichos elementos conectados como parte constituyente de las áreas marinas protegidas de acuerdo a sus relaciones con otros elementos.

Definición de las categorías y elementos dentro de las categorías

El marco de Cascada de Servicios Ecosistémicos¹ se utiliza como hilo conductor para la evaluación de las interacciones entre las características biofísicas del sistema, las funciones ecológicas de estos elementos y los beneficios sociales asociados dentro del contexto de cada una de las AMP bajo estudio. Este marco conceptual ha sido ampliamente utilizado para representar las relaciones entre los procesos estructurales de un sistema y sus beneficios. Es un marco que ofrece un punto de encuentro entre diferentes disciplinas científicas (ecológicas vs. no ecológicas) y los diferentes actores sociales involucrados, ya que tiene la ecología como punto de partida y los beneficios sociales y su valor como punto final (Figura 1). Dentro del proyecto ECOSER este marco ha sido modificado y ampliado con el fin de considerar la retroalimentación ejercida por acciones humanas relacionadas con la gestión y los efectos del cambio climático sobre el sistema (Figura 1).

¹ Haines-Young and Potschin, "The Links between Biodiversity, Ecosystem Services and Human Well-Being"

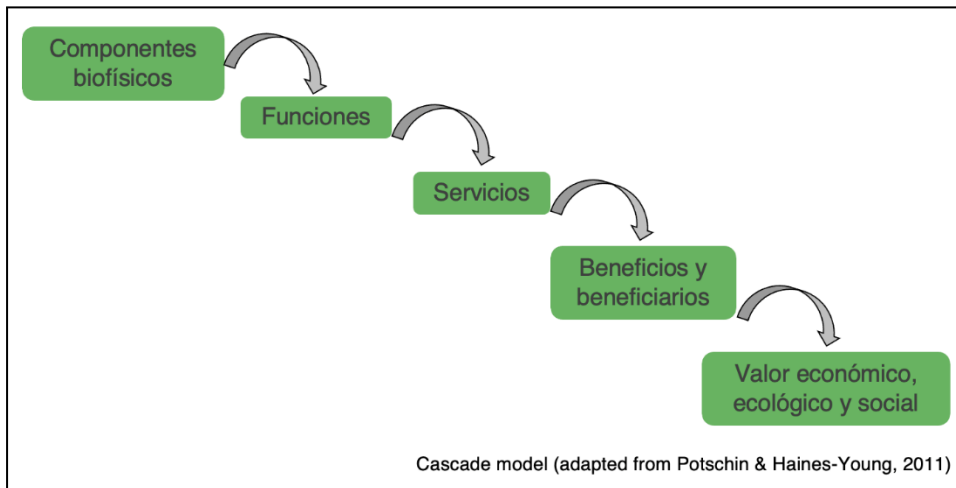


Figura 1. El modelo de cascada de servicios ecosistémicos relaciona las estructuras biofísicas con los beneficios socioeconómicos o culturales del bienestar humano en forma de cadena de producción.

En general, se deberían considerar cinco grandes categorías de elementos entre los cuales existen interacciones. En ECOSER 2.0, se han considerado interacciones a nivel ecológico, social y de gestión dentro de un contexto de cambio climático global (Figura 2). Así pues, los diferentes elementos a considerar son:

- 1) Componentes ecológicos: los componentes biofísicos estructurales (hábitat) o clave debido a su rol en las interacciones ecológicas o a su interés de conservación.
- 2) Funciones ecosistémicas: los procesos físicos, químicos y biológicos que relacionan a los organismos con su entorno.
- 3) Actores sociales (beneficiarios): grupos humanos que tienen alguna interacción con los componentes ecológicos, ya sea por su uso (e.g., pescadores), su gestión (e.g., gestores del área o tomadores de decisión) o su disfrute (e.g., recreativo).
- 4) Intervenciones de gestión: intervenciones humanas cuya finalidad es gestionar las actividades que se realizan en las áreas protegidas para minimizar los efectos negativos sobre los componentes biofísicos.
- 5) Componentes asociados al cambio climático: principales factores ambientales regionales o globales que son causados por cambio climático.

En cada caso de estudio se debe desarrollar un listado de elementos específicos conectados en base al contexto biofísico y a los principales actores en el área marina protegida. En cada área marina se deberían identificar entre 4 y 10 componentes de cada una de las categorías descritas anteriormente (Figura 2). Igualmente, se debería limitar el número total de componentes por área marina para evitar obtener redes de interacciones con numerosas interacciones difíciles de interpretar. Por lo tanto, se recomienda un máximo entre 30-35 variables ecológicas y socioeconómicas por área marina. Una fracción de estas variables deberían ser comunes a todas las áreas con la finalidad de tener elementos de

conexión entre las tres redes (e.g., actores políticos y variables asociadas al cambio climático).

Construcción de las matrices de interacciones y creación de grafos

La construcción de matrices de interacciones tiene como objetivo ser el paso intermedio que permita transformar los listados de elementos conectados en grafos dirigidos, ponderados y con signo. Los grafos son esquemas de redes, que ayudan a analizar estas, independientemente de la naturaleza de los objetos conectados y sus conexiones. Con este objetivo, los listados de elementos de cada área se toman como base para construir una matriz cuadrada donde se incluye una valoración y dirección de las interacciones entre los distintos elementos conectados o nodos.

Las conexiones entre los elementos conectados se ponderan en una escala de -2 a 2 (i.e., -2, -1, 0, 1, 2), donde -2 corresponde a la interacción más negativa y 2 a la interacción más positiva. Dichas conexiones se consideran como relaciones dirigidas y únicamente se deberían considerar en ambas direcciones cuando la relación entre los nodos tenga lógica. Por ejemplo, existe evidencia científica que apoya que los bosques de algas pardas (un componente ecológico) tienen una relación positiva y dirigida hacia la formación de hábitat (una función del ecosistema). Sin embargo, no hay lógica en la relación inversa. Es decir, la formación de hábitat no tiene una relación dirigida hacia los bosques de algas pardas, pues la función del ecosistema no puede existir sin el componente ecológico.

Adicionalmente, solo se deberían representar las relaciones directas, aquellas que son evidentes entre dos nodos. No se deberían considerar relaciones indirectas derivadas de relaciones en cadena. Por ejemplo, no se puede decir que hay una relación directa y positiva entre las algas del coralígeno y las pesquerías de pequeña escala porque se considere que el coralígeno provea de hábitat a los peces, la abundancia y diversidad de peces aumente y esto favorezca a las pesquerías.

Se deben valorar como cero (0) aquellas conexiones que puedan existir, pero que en los casos de estudio se desconoce dicha relación, si es neutra o, no se detecta, por ejemplo, la relación entre esos dos nodos podría existir en otro caso de estudio en otro lugar del mundo. Ante cualquier duda, se debe optar por valorar la conexión entre dos nodos como "NA". Algunas de las conexiones se deberían considerar como "NA" cuando la relación entre dos nodos no tenga sentido. Es decir, cuando se elaboré una frase racional que intente explicar la relación entre componentes se encuentre que esta no tiene sentido. Por ejemplo, no tiene ningún sentido decir que "la sensibilización tiene una relación directa y positiva (aumenta) los eventos climáticos extremos". Algunas conexiones se deben considerar como "NA" estructurales, es decir en ninguno de los casos de estudio se espera que esos dos nodos tengan una relación lógica. Por ejemplo, no tiene ningún sentido para ningún caso de estudio que "la comunidad científica tenga un efecto dirigido y positivo (aumente) la acidificación de los océanos a nivel global".

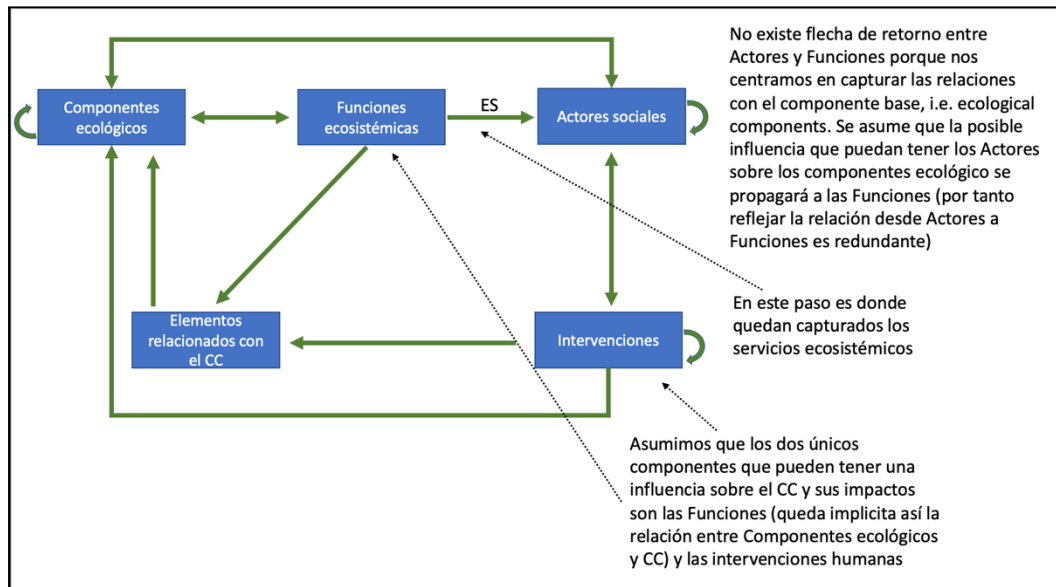


Figura 2. Diagrama de las relaciones contempladas en el estudio

A continuación, y como ejemplo, se describen las relaciones/interacciones consideradas en el proyecto ECOSER 2.0, estas relaciones han sido representadas en la figura 2.

1) *Relación desde los componentes ecológicos hacia el resto de los elementos:*

- a) Componentes ecológicos: en general, se asumen interacciones positivas entre componentes (ej., la diversidad de peces favorece a la diversidad de invertebrados; a no ser que se tenga evidencia de lo contrario en el caso de estudio).
- b) Funciones ecosistémicas: determinadas por las funciones que realizan las especies/hábitats
- c) Actor/beneficiario: esta relación captura si el actor se puede beneficiar (o ver perjudicado) por la presencia del componente ecológico
- d) Intervenciones: no hay interacción en esta dirección, es decir, desde el componente ecológico a la intervención
- e) Componentes relacionados con el cambio climático: no hay interacción en esta dirección

2) *Relación desde funciones ecosistémicas al resto de componentes:*

- a) Componentes ecológicos: en general se considerará como no aplicable (NA), ya que las funciones las proveen los componentes biológicos. Sin embargo, puede haber algún caso de interacción positiva (p.ej.: de provisión de hábitat sobre una especie)
- b) Funciones ecosistémicas: asumimos que es NA
- c) Actor/beneficiario: el beneficio (o no-beneficio) derivado de la función

- d) Intervenciones: no hay interacción en esta dirección
- e) Componentes relacionados con el cambio climático: no hay interacción en esta dirección

3) *Relación desde Actor/beneficiario hacia:*

- a) Componentes ecológicos: la interacción será positiva, negativa, o neutra según el efecto que tengan los usuarios sobre el componente ecosistémico,
- b) Funciones ecosistémicas: indicamos NA ya que la interacción ocurre por medio de los componentes del ecosistema,
- c) Actor/beneficiario: interacción definida por posibles conflictos entre usuarios,
- d) Intervenciones: interacción definida por la demanda que pueden hacer los usuarios por medidas de regulación,
- e) Componentes relacionados con el cambio climático: no hay interacción en esta dirección.

4) *Relación desde Intervenciones hacia:*

- a) Componentes ecológicos: la interacción definida por los efectos de la regulación existente en el AMP, y otras intervenciones, sobre los componentes ecológicos,
- b) Funciones ecosistémicas: indicamos NA ya que la interacción ocurre por medio de los componentes del ecosistema,
- c) Actor/beneficiario: el efecto que tiene las diferentes regulaciones e intervenciones sobre los usuarios,
- d) Intervenciones: interacción que pueda haber entre las diferentes regulaciones,
- e) Componentes relacionados con el cambio climático: el efecto que puedan tener las diferentes regulaciones sobre efectos de CC (en general, se considera un efecto de mitigación si existe la regulación).

5) *Relación entre los componentes relacionados con el cambio climático hacia:*

- a) Componentes ecológicos: efectos (positivos o negativos) de los cambios relacionados con el cambio climático sobre los diferentes componentes ecológicos,
- b) Funciones ecosistémicas: indicamos NA ya que la interacción ocurre por medio de los componentes del ecosistema,
- c) Actor/beneficiario: indicamos NA ya que la interacción ocurre por medio de los componentes del ecosistema,

d) Intervenciones: no hay interacción en esta dirección.

Validación de las matrices de interacciones y grafos

Las matrices de interacciones deben ser acompañadas con una matriz o tabla donde se listen las fuentes bibliográficas, bases de datos, contactos, etc. que justifiquen cada una de las relaciones detectadas entre los diferentes componentes de la red (e.g., artículos científicos, libros, informes técnicos, pequeñas entrevistas con expertos concedores del AMP, etc.).

Una vez completada las matrices de interacciones se deben validar con los actores sociales involucrados, para ello se pueden desarrollar mesas de trabajo con diferentes grupos. En cada una de estas mesas de trabajo se deben plantear preguntas y dudas acerca de interacciones concretas de la red, para así corroborar, validar o modificar cierta información plasmada en la matriz. Sin embargo, esas mesas de trabajo deben ser dirigidas a sectores específicos y así analizar relaciones concretas entre los componentes más afines a su papel en el AMP, por ejemplo, los investigadores deberían centrarse en la validación de las interacciones entre los componentes ecológicos y las funciones del ecosistema, pero los operadores turísticos no deberían centrar sus análisis en las relaciones entre cambio global y biodiversidad.

Análisis de las redes y cálculo de las medidas de centralidad

Una vez validados y/o corregidos los valores de las matrices, se realiza un análisis de redes utilizando un enfoque multicapa² que permita evaluar, en conjunto y para cada caso de estudio, la conexión entre: (1) los componentes ecológicos; (2) las funciones del ecosistema; (3) los actores sociales; (4) las acciones de gestión, y (5) los impactos del cambio global en cada una de las áreas protegidas. Con todos los nodos de todas las categorías, se construye una matriz de adyacencia con ponderaciones, la matriz de adyacencia puede ser representada como un grafo usando el lenguaje y el entorno “R” para la computación estadística³ y el paquete “igraph”⁴.

Seguidamente, se pueden calcular diferentes medidas de centralidad considerando los vínculos entre los diferentes nodos de las cinco categorías. En una red de elementos conectados, es posible determinar cuál de los elementos es más importante calculando una serie de medidas de centralidad. Las medidas de centralidad elegidas como las más informativas para este tipo de redes dirigidas, ponderadas y con signo son: Grado, Grado con signo, Vector propio con signo e Índice positivo negativo (Tabla 1). Para calcular las anteriores medidas de centralidad se puede utilizar el paquete “signnet” para R⁵.

² Pilosof et al., “The Multilayer Nature of Ecological Networks”; Langle-Flores et al., “Multi-Level Social-Ecological Networks in a Payments for Ecosystem Services Programme in Central Veracruz, Mexico”

³ R Core Team, “R: A Language and Environment for Statistical Computing”

⁴ Csardi and Nepusz, “The Igraph Software Package for Complex Network Research”

⁵ Schoch, *Signnet: An R Package to Analyze Signed Networks*.

Tabla 1. Definición y fundamento racional de las medidas de centralidad calculadas incluyendo referencias bibliográficas donde se pueden consultar detalles matemáticos y técnicos relacionados a su formulación y uso.

Medida de centralidad	Referencia(s)	Definición	Fundamento
Grado⁶		En inglés 'Degree'. El grado de un nodo es el número de aristas conectadas a dicho nodo.	El grado es el número de nodos con los que un nodo interactúa.
Grado con signo⁷		En inglés 'Signed Degree'. El grado con signo de un nodo es el número de aristas conectadas a dicho nodo, en este caso el valor es el resultado neto de las interacciones positivas y negativas.	El grado con signo es el valor neto de los nodos con los que un nodo tiene interacciones negativas o positivas. Es decir, el número total de conexiones con otros nodos de la red.
Centralidad del vector propio con signo⁸		En inglés 'Signed Eigenvector centrality'. La centralidad del vector propio con signo deriva de la centralidad del vector propio. En este caso las interacciones negativas y positivas se escalan para que el valor máximo sea 1.	La centralidad del vector propio con signo es una medida de la influencia de un nodo en la red. Su interpretación es la misma que la versión de esta medida sin signo. Un nodo con alta centralidad del vector propio con signo puede propagar más fácilmente su influencia a través de la red.
Índice Positivo-Negativo⁹		En inglés 'Positive-Negative index'. Es muy similar al estatus de Katz y a la medida de Hubbell para las redes con únicamente vínculos positivos. Los detalles técnicos se pueden encontrar en Everett & Borgatti (2014).	El índice Positivo-Negativo indica si un nodo tiene una influencia global negativa, neutra o positiva de acuerdo a la suma de las relaciones de ese nodo con los demás nodos de la red.

Al obtener estas medidas de centralidad es posible obtener grafos que representen la estructura de la red y permitan identificar visualmente los actores más importantes¹⁰, y también obtener listados de esos elementos de la red, ordenados por el valor ascendente o descendente de cada medida de centralidad. De esta manera, se puede analizar la estructura de cada una de las redes y cómo cada una de las categorías y elementos de dichas redes condicionan la efectividad de las áreas marinas protegidas como un ente conectado.

⁶ Barrat et al., "The Architecture of Complex Weighted Networks"

⁷ Schoch, *Signnet: An R Package to Analyze Signed Networks*.

⁸ Bonacich and Lloyd, "Calculating Status with Negative Relations"; Everett and Borgatti, "Networks Containing Negative Ties"

⁹ Everett and Borgatti, "Networks Containing Negative Ties"

¹⁰ Pedersen, "Ggraph: An Implementation of Grammar of Graphics for Graphs and Networks"