

ECOLOGÍA

Redes tróficas marinas

Su organización por compartimentos les confiere mayor robustez ante las perturbaciones

Los océanos cubren más de dos tercios de la superficie terrestre. Los ecosistemas marinos son fundamentales para el hombre, pues, entre otras funciones, operan a modo de fuente de alimentos y de sumidero del CO₂ que resulta de la quema excesiva de combustibles fósiles. Sin embargo, a pesar de su importancia, se han estudiado poco. Se han descrito alrededor de 300.000 especies marinas (alrededor del 15 por ciento de las especies que pueblan el planeta), mientras que la biodiversidad total oceánica se estima en más de 10 millones de especies. Asimismo, actividades humanas como la sobrepesca, el desarrollo de regiones costeras, la polución y la introducción de especies exóticas ha resultado en un declive de las poblaciones de numerosas especies y en la extinción de otras.

Debido, en parte, a las complejas relaciones de interdependencia entre especies, se desconocen las implicaciones de esas actividades a medio y largo plazo. Relaciones como las que existen entre depredadores y presas conllevan que, al extinguirse una especie, otras se vean afectadas en menor o mayor grado; en un efecto dominó, lo que le ocurre a una especie puede propagarse por la comunidad. La magnitud de este impacto depende en gran medida del tipo, tamaño y estructura de las redes de interacción. Por ello este tipo de cuestiones se abordan con herramientas matemáticas utilizadas en el estudio de redes complejas como, por ejemplo, Internet. Mediante estas herramientas se intenta determinar qué características estructurales son comunes a distintos ecosistemas, estudiar los proce-

sos que subyacen bajo esa estructura, comprender sus consecuencias y determinar qué especies son más importantes para el funcionamiento y estabilidad de los ecosistemas.

Hoy sabemos que las redes tróficas marinas de gran tamaño presentan características estructurales generales. Predominan las cadenas tróficas cortas; ello implica que son necesarios pocos consumidores intermedios para que los nutrientes generados en la base de la cadena alimenticia sean asequibles a superdepredadores como los tiburones. Los consumidores tienden a alimentarse de varias especies; ello resulta en redes con una alta conectividad formadas en su mayoría por interacciones débiles, ya que estos no dependen exclusivamente de un solo recurso. La distribución de estas interacciones es extremadamente asimétrica, puesto que la mayoría de las especies establecen pocas interacciones mientras que un pequeño número de ellas aglutinan la mayor parte de las interacciones presentes en la red. La predominancia de cadenas tróficas cortas, interacciones débiles y especies marginales tiende a amortiguar potenciales efectos de cascadas, lo que resulta en redes robustas ante perturbaciones menores.

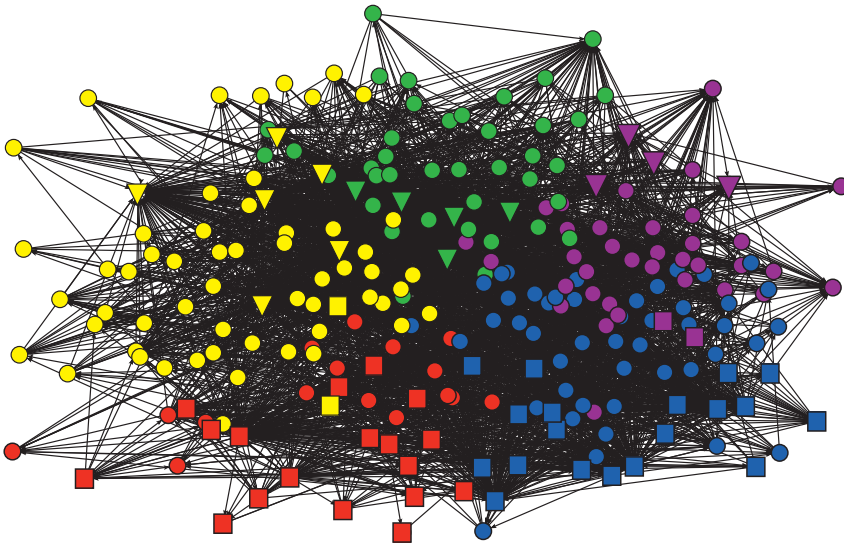
Compartimentación

Investigaciones recientes sugieren, además, que, en ecosistemas de gran diversidad, esas redes tróficas se hallan organizadas en compartimentos, es decir, en grupos de especies altamente conectadas entre sí pero con escasos vínculos tróficos con especies de otros grupos. Sin embargo, se desconocen los mecanismos que generan dicha estructura.

En nuestro grupo de investigación hemos analizado una red trófica del Caribe, que incluye 3313 interacciones tróficas entre 249 especies. El estudio, que se publicó en 2009 en la revista *Ecology Letters*, ha combinado herramientas computacionales usadas en el estudio de redes complejas con métodos estadísticos filogenéticos. A tenor de los resultados, la estructura compartimentada de la red trófica resulta de la heterogeneidad am-

En las cadenas tróficas cortas bastan pocos consumidores intermedios para que los nutrientes generados en la base de la cadena lleguen a superdepredadores como los tiburones.





En este esquema de una red trófica marina del Caribe se observa la estructura compartimentada típica de este tipo de redes. Los nodos de distinto color representan especies pertenecientes a diferentes compartimentos; cada línea de unión, una interacción entre depredador y presa. Las especies se dividen en: no peces (*cuadrados*), peces óseos (*círculos*) y tiburones (*triángulos*).

biental y de la selección de presas de distintos tamaños por parte de los grandes depredadores, lo que conlleva a una menor competencia entre estas especies. Es posible, por tanto, que una estructura compartimentada permita acomodar una mayor diversidad de especies, contribuyendo no solo a una mayor estabilidad de las redes tróficas en el tiempo, sino también a una mayor biodiversidad.

Asimismo, las investigaciones sugieren que, en el transcurso de la evolución de los ecosistemas marinos, han prevalecido características estructurales que contribuyen a la estabilidad y la resiliencia a las perturbaciones.

Si bien los resultados de nuestro estudio justifican un cierto optimismo, también han revelado el talón de Aquiles estructural de estos ecosistemas. En primer lugar, la estabilidad resulta en gran parte del tamaño de la red. Las cascadas tróficas tienden a ser pequeñas en ecosistemas diversos porque los depredadores pueden cambiar de recurso si disminuye la disponibilidad de las especies predominantes en su dieta. Conforme decrece la diversidad de un ecosistema, decae también la capacidad para amortiguar el efecto de una perturbación.

En segundo lugar, al acumular una gran fracción de las interacciones, un número reducido de especies destacan por encima de las demás como determinantes de las propiedades estructurales. Muchas

de estas especies corresponden a depredadores de gran porte. Y lo preocupante es que, como consecuencia de la caza y el aumento de la sobrepesca durante las últimas décadas, la población de grandes depredadores (atunes, tiburones y numerosos mamíferos acuáticos) ha disminuido drásticamente. Si desaparecen estas especies, otros peces de menor tamaño ejercerán el papel de superdepredadores, con consecuencias imprevisibles para el ecosistema.

—Enrico L. Rezende

Universidad Autónoma de Barcelona

Eva M. Albert

Estación Biológica de Doñana

Sevilla

Miguel A. Fortuna

Universidad Princeton

Nueva Jersey, EE.UU.