

## **Material suplementario**

Sitios en internet con bases de datos de redes tróficas y programas de cómputo para el análisis de redes tróficas.

### *Bases de datos de redes tróficas.*

A pesar de que la resolución de las redes publicadas es uno de los problemas más criticados, existen 17 redes tróficas consideradas como muy completas (Dunne et al., 2002) y varias otras más recientes (Koehn et al., 2016; Ocampo et al., 2015). Además de estos ejemplos Ecobase (<http://ecobase.ecopath.org/>) tiene más de 400 redes tróficas analizadas por Ecopath de todo el mundo principalmente de sistemas acuáticos (Colléter et al., 2015). Esta también Ecology Networks (<http://networkrepository.com/eco.php>) que tiene en su repositorio algunas redes acuáticas. Una más es la colección de redes de la Universidad de Canberra (<https://www.globalwebdb.com/>) que cuenta con 359 redes y pueden ser descargadas a través de un menú según el tipo de ambiente, el año y otras opciones. Así mismo, Brose et al. (2019) en su publicación añade las 290 redes tróficas de agua dulce, marinas y terrestres utilizadas para su análisis. Un último repositorio de redes tróficas es Interaction Web DataBase (<https://iwdb.nceas.ucsb.edu/index.html>) con redes tanto terrestres como acuáticas siendo muchas de las terrestres del tipo bipartita. No todas las redes en estos sitios presentan una alta resolución de sus nodos sin embargo la mayoría a nivel de especie y las relaciones interespecíficas están bien documentadas.

### *Programas para el análisis.*

Con el incremento en la capacidad de cómputo ha habido una mayor producción de programas dedicados al análisis de redes, recordemos que el análisis de redes es bastante antiguo y su origen es puramente matemático. Sin embargo, las ciencias sociales desarrollaron los primeros programas y posteriormente se desarrollaron otros para el

análisis ecológico de redes. A continuación, se hace una breve reseña de algunos programas para el análisis de redes tróficas ponderadas y no ponderadas. Esta semblanza no cubre todos los programas que existen y su descripción se basa en el uso dado por los autores del presente trabajo.

NETWRK (Ulanowicz, 1987)

Este programa es de los primeros programas escritos específicamente para el análisis de redes tróficas ponderadas, está escrito en FORTRAN IV. Sin embargo, existen algunas versiones más cómodas para personas que no programan en este lenguaje. Al estar escrito por uno de los precursores del análisis cuantitativo de redes tróficas y promotor de su propia teoría de Ascendencia, es una buena opción para el análisis de redes ponderadas obteniendo resultados confiables.

ECOPATH with ECOSIM (Christensen y Pauly, 1992; Christensen y Walters, 2004)

Este programa cumplió 35 años en el 2019 desde su primera versión y está basado en un homónimo escrito por Polovina (1984a, b). El programa se enfoca principalmente en el análisis de la estructura y función de la red trófica ponderada relacionada con la explotación de recursos pesqueros. Es decir, es un programa que aplica la teoría de las redes tróficas bajo distintos escenarios de la pesca de una o más especies y su efecto sobre las biomásas del recurso explotado y el resto de las especies del sistema. Aunque es un programa relativamente amigable en su uso, el cálculo de los parámetros no conocidos para las especies o grupos de especies que componen la red tiene sus dificultades y el resultado final presenta cierta incertidumbre en algunos casos. Así mismo, el resultado de algunos de los índices como Ascendencia puede estar sesgado debido principalmente a que los valores no conocidos y aproximados por el propio programa varían entre simulaciones.

enaR (Borrett and Lau, 2014)

Este programa o script está escrito en lenguaje R y se basa los índices y teorías sobre redes tróficas ponderadas comenzando por Patten (1978) y Nielsen et al. (2020). Es un programa fácil de usar si se es prolijo en R y sus resultados están relacionados con el punto de vista de Patten y su equipo de trabajo, además proporciona los análisis propuestos por Ulanowicz (1987) con exactitud.

PAJEK (Batageli y Mrvar, 2011)

Este programa está enfocado al análisis de redes sociales. Tiene una interface gráfica relativamente amigable sobre los principales sistemas operativos de computadoras de escritorio. Sin embargo, es necesario conocer ampliamente los términos sobre redes sociales para poder interpretarlos a redes tróficas, ya que no todos los análisis son adecuados para éstas. A pesar de estar enfocado al análisis de redes sociales es útil para el estudio estructural de redes tróficas no ponderadas. Por ser fácil de usar, gratuito y proporcionar resultados correctos este programa ha sido utilizado ampliamente por los ecólogos.

SOCPROG (Whitehead, 2009)

Es una serie de rutinas programadas en MATLAB desarrolladas en la Universidad de Dalhousie para el análisis de estructura y dinámica social, demografía y migraciones de individuos usando distintos tipos de índices. Es de libre acceso y posee una versión compilada que puede descargarse para Windows; aunque su interfaz gráfica es sencilla, los datos requieren preparación en un archivo con características especiales. La mayoría de los análisis pueden adaptarse a las características más comunes de los muestreos y tipos de datos, y las salidas del programa pueden revisarse en forma gráfica (e.g., sociogramas, gráficos de conglomerados, escalamiento multidimensional, series de tiempo, etc.) o en matrices (archivos \*.txt), aunque ambas son difíciles de editar en el mismo programa,

especialmente si no se dispone de MATLAB o experiencia en programación orientada a objetos.

UCINET (Borgatti et al., 2002)

Es un programa hecho por investigadores de la Universidad de California, USA y dirigido al análisis de redes sociales, al igual que PAJEK. Se utiliza para el análisis de redes tróficas no ponderadas. Su uso es amigable con una interfaz para los sistemas operativos más comunes, sin embargo, hay que pagar una licencia anual para su uso.

Gephi (Bastrian et al., 2009)

Este programa también está enfocado al análisis de redes sociales y puede usarse en el análisis de redes tróficas no ponderadas. Es un programa que no necesita licencia para operar y trabaja en cualquier plataforma ya que está escrito en Java. Los resultados los arroja en tablas, lo que facilita y brinda muchas opciones de manipulación de los datos originales. Una de sus opciones fuertes son las gráficas de las redes, que son de buena calidad con varias opciones para su presentación. Además, tiene la opción de hacer análisis temporal de redes de una manera relativamente sencilla y que pocos programas tienen.

vegan (Oksanen et al., 2019) bipartite (Dorman et al., 2008, 2009; Dorman 2011) y SNA (Butts, 2019)

Estos son programas o scripts escritos en lenguaje R para el análisis de redes en general y de manera particular sna para redes sociales. Vegan y sna realizan análisis topológicos (centralidades, modularidad, etc.) y presentan varios gráficos de estas. Bipartite se utiliza para el análisis de redes bipartitas presentando una buena cantidad de resultados al respecto. Para utilizar los tres programas es necesario saber el lenguaje R y escribir pequeños scripts para su uso óptimo. Aunque realizan análisis muy similares, se diferencian en cuanto a la eficiencia de sus algoritmos o la versatilidad de la presentación de gráficas.

IAEN (Abarca-Arenas y Huesca, 2019)

Este programa está escrito en R y utiliza varias rutinas de los programas o scripts arriba mencionados. A diferencia de los anteriores, su uso es a través de una interface gráfica (GUI) sobre el ambiente R, esto hace que su uso sea sencillo e intuitivo para la mayoría de las personas. El programa tiene secciones para el análisis de redes ponderadas, no ponderadas y bipartitas. Los resultados presentados están enfocados a la estructura y función de redes tróficas, optimizando de esta forma solo aquellas rutinas necesarias para este análisis. Los resultados se presentan en tablas y gráficas, si es necesario. También incluye una sección de simulaciones de redes tróficas de acuerdo con varios criterios y filosofías (e.g. azar, modelo del nicho). Las tablas de resultados pueden exportarse como hojas de cvs o xlsx y las gráficas como jpg, png, pdf o tiff. Además, este programa no necesita una licencia para su uso.

#### Bibliografía

- Abarca-Arenas, L. G., y Huesca-Domínguez, I. (2019). *IAEN: programa para el análisis de redes tróficas*. <https://github.com/ihuesca/IAEN>
- Bastian, M., Heymann, S., y Jacomy, M. (2009). Gephi: An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks. *Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media*, 3(1), 361–362. <https://doi.org/10.1609/icwsm.v3i1.13937>
- Borgatti, S. P., Everett, M. G., y Freeman, L. C. (2002). Ucinet for Windows: Software for social network analysis. *Harvard MA: analytical technologies*, 6.
- Borrett, S. R., y Lau, M. K. (2014). EnaR: An r package for Ecosystem Network Analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 5, 1206–1213. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12282>
- Brose, U., Archambault, P., Barnes, A. D., Bersier, L.-F., Boy, T., Canning-Clode, J., Conti, E., Dias, M., Digel, C., Dissanayake, A., Flores, A. A. V., Fussmann, K., Gauzens,

- B., Gray, C., Häussler, J., Hirt, M. R., Jacob, U., Jochum, M., Kéfi, S., ... Iles, A. C. (2019). Predator traits determine food-web architecture across ecosystems. *Nature Ecology & Evolution*, 3, 919–927. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0899-x>
- Butts, C. T. (2022). *sna: Tools for Social Network Analysis* (R package version 2.5). <https://CRAN.R-project.org/package=sna>
- Christensen, V., y Pauly, D. (1992). ECOPATH II — a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. *Ecological Modelling*, 61, 169–185. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(92\)90016-8](https://doi.org/10.1016/0304-3800(92)90016-8)
- Christensen, V., y Walters, C. J. (2004). Ecopath with Ecosim: Methods, capabilities and limitations. *Placing Fisheries in their Ecosystem Context*, 172, 109–139. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.09.003>
- Colléter, M., Valls, A. E., Guitton, J., Morissette, L., Arreguín-Sánchez, F. F., Christensen, V., Gascuel, D., y Pauly, D. (2013). *EcoBase: A Repository Solution to Gather and Communicate Information from EwE Models* (Vol. 21). Fisheries Centre Research Reports. <https://open.library.ubc.ca/collections/52383/items/1.0354309>
- Dormann, C. F. (2011). How to be a specialist? Quantifying specialisation in pollination networks. *Network Biology*, 1(1), 1–20.
- Dormann, C. F., Frund, J., Bluthgen, N., y Gruber, B. (2009). Indices, Graphs and Null Models: Analyzing Bipartite Ecological Networks. *The Open Ecology Journal*, 2, 7–24. <https://doi.org/10.2174/1874213000902010007>
- Dormann, C. F., Gruber, B., y Fründ, J. (2008). Introducing the bipartite Package: Analysing Ecological Networks. *R News*, 8, 8–11.
- Dunne, J. A., Williams, R. J., y Martinez, N. D. (2002). Food-web structure and network theory: The role of connectance and size. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(20), 12917–12922. <https://doi.org/10.1073/pnas.192407699>
- Koehn, L. E., Essington, T. E., Marshall, K. N., Kaplan, I. C., Sydeman, W. J., Szoboszlai, A. I., y Thayer, J. A. (2016). Developing a high taxonomic resolution food web model to assess the functional role of forage fish in the California Current ecosystem.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.05.010>

Mrvar, A., y Batagelj, V. (2011). *Pajek: Program for analysis and visualization of large networks. Reference manual*. University of Ljubljana, Slovenia.

Nielsen, S. N., Fath, B. D., Bastianoni, S., Marques, J. C., Müller, F., Patten, B. C., Ulanowicz, R. E., Jørgensen, S. E., y Tiezzi, E. (2019). *A new ecology: Systems perspective* (2a ed.). Elsevier, Amsterdam, Neatherlands.

<https://doi.org/10.1016/C2015-0-01948-7>

Ocampo Reinaldo, M., Milessi, A. C., Romero, M. A., Crespo, E., Wolff, M., y González, R.

A. (2016). Assessing the effects of demersal fishing and conservation strategies of marine mammals over a Patagonian food web. *Ecopath 30 years – Modelling ecosystem dynamics: beyond boundaries with EwE*, 331, 31–43.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.10.025>

Oksanen, J., Simpson, G. L., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O’Hara, R. B., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., Wagner, H., Barbour, M., Bedward, M., Bolker, B., Borcard, D., Carvalho, G., Chirico, M., Caceres, M. D., Durand, S., ... Weedon, J. (2019). *vegan: Community Ecology Package* (R package version 2.5-6). <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>

Patten, B. C. (1978). Systems Approach to the Concept of Environment. *Ohio Journal of Science*, 78(4), 206–222.

Polovina, J. J. (1984a). An overview of the ECOPATH model. *Fishbyte*, 2(2), 5–7.

Polovina, J. J. (1984b). Model of a coral reef ecosystem. *Coral Reefs*, 3, 1–11. <https://doi.org/10.1007/BF00306135>

Ulanowicz, R. E. (1987). *NETWRK4: A package of Computer Algorithms to analyze ecological flow networks*. University of Maryland, Chesapeake Biological Laboratory, Solomons, MD, USA.

Whitehead, H. (2009). SOCPROG programs: Analyzing animal social structures. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 63(5), 765–778. <https://doi.org/10.1007/s00265-008-0697-y>