

Ecología comunitaria, estructuras informacionales y grafos[®]

José R. Portillo^a, José A. Langa^b y Fernando Soler-Toscano^c

(a) *Dpto. de Matemática Aplicada 1, Universidad de Sevilla.*

Instituto de Matemáticas de la Universidad de Sevilla

E-mail: josera@us.es

(b) *Dpto. de Ecuaciones Diferenciales y Análisis Numérico, Universidad de Sevilla.*

(c) *Dpto. de Filosofía, Lógica y Filosofía de la Ciencia, Universidad de Sevilla.*

Resumen. Se presenta un trabajo en curso en el que se relacionan los parámetros de digrafos asociados a redes ecológicas con medidas de estructuras informacionales de las mismas.

Palabras clave. Grafos, Redes ecológicas, Biocenosis, Estructuras informacionales.

El uso de redes en Ecología es usual desde la fundación de la disciplina. Por ejemplo, las redes tróficas son interconexiones de cadenas alimentarias y se corresponden con digrafos que indican quién se come a quién en una comunidad ecológica o biocenosis. El término *biocenosis* fue introducido en 1877 por Möbius para enfocar la atención en las poblaciones y no en los individuos y se define como un grupo de poblaciones de dos o más especies diferentes que ocupan la misma área geográfica al mismo tiempo. El objetivo principal de la ecología comunitaria son las interacciones entre poblaciones. Por lo tanto los digrafos son herramientas naturales para este estudio, siendo los vértices las poblaciones de las especies y los arcos la influencia de una población sobre otra. El arco puede ser marcado con una etiqueta que indique el tipo de influencia (-1 para negativo, 0 para neutral o 1 para positivo) o con un número real que muestre la magnitud de la misma. En este caso diremos que la red es *ponderada*.

La ecología comunitaria moderna tiene su origen en la sociología vegetal europea y examina patrones como la variación en la riqueza de especies, la equidad, la productividad y la estructura de la red alimentaria. También examina procesos como la dinámica o la sucesión de la población predador-presa. Las especies interactúan de varias maneras: competencia, depredación, parasitismo, mutualismo, comensalismo, etc (ver Tabla 1.1). La organización de una comunidad biológica

[®] Parcialmente financiado por el Dpto. de Matemática Aplicada 1, Universidad de Sevilla.

con respecto a las interacciones ecológicas se denomina estructura comunitaria y uno de los objetivos de este estudio es relacionar la dinámica de la estructura comunitaria con los parámetros de los grafos asociados.

	Negativo	Neutral	Positivo
Negativo	Competición	Amensalismo	Predación–Parasitismo
Neutral	Amensalismo	Neutralismo	Comensalismo
Positivo	Predación–Parasitismo	Comensalismo	Mutualismo

Tabla 1.1: Interacción entre dos especies según el efecto que causa una en otra

Uno de los grandes problemas del estudio de los digrafos asociados a redes ecológicas es la valoración del efecto causado por una especie en otra. En las redes que se encuentran en la bibliografía suele indicarse el número de interacciones observadas pero a la hora de llevar este efecto a una modelización matemática, como por ejemplo un sistema de Lokta-Volterra para los sistemas predador–presa, es necesario afinar el modelo para que las ponderaciones representen realmente la tasa de influencia de una especie en otra.

Otro de los grandes problemas es la generación de redes que simulan redes ecológicas reales [1]. Para algunos estudios es deseable tener un gran número de redes y en la literatura puede no haber ejemplos suficientes, así que disponer de un mecanismo que genere redes ecológicas sintéticas sería de gran ayuda.

1 GENERACIÓN DE REDES ECOLÓGICAS SINTÉTICAS

Los digrafos de una red ecológica suelen tener pocos arcos: muchas de las parejas de especies no interactúan entre sí. Esto sugiere que los pesos de los arcos siguen esquemas de Poisson, pero hay numerosos estudios que prueban lo contrario (ver, p.e., la bibliografía de Stoklosa *et al.* [2]). Dos razones más para inferir que Poisson no es una buena elección son que la media y la varianza coinciden, lo que no suele ser cierto en redes ecológicas y la fuerte presencia de sobredispersión [2].

Nos centramos en redes mutualistas, i.e., todos los arcos tienen ponderación cero o positiva. Se seleccionaron de *Web of Life* [3] 18 redes plantas–dispersadores de semillas, 4 plantas–hormigas y 103 plantas–polinizadores. Les hemos aplicado el test de Kolmogorov-Smirnov de ajuste a varias distribuciones: Normal, Exponencial, Logística, Geométrica, Poisson y Binomial negativa con un número de *bootstrapping* de 10000. Los resultados se muestran en la Tabla 1.2. La binomial negativa se ajusta a las redes de la base de datos en el 58.4% de los casos (73 redes) con un P-Value superior a 0.5. Las demás bases de datos no ajustan a ninguna distribución, excepto una de ellas a una normal y dos a la geométrica.

P-Value	Normal	Exp.	Logistic	Geom.	Poissson	Bin. neg.
Mean	$7 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	0.51
≥ 0.5 (%)	0.8	0	0	1.6	0	58.4
≥ 0.5 (#)	1	0	0	2	0	73

Tabla 1.2: Ajustes de distribuciones mediante el test de Kolmogorov-Smirnov con número de *bootstrapping* 10000.

2 ESTRUCTURAS INFORMACIONALES Y DIGRAFOS

Cuando una dinámica evoluciona sobre una red compleja, es muy importante conocer la relación que existe entre la configuración del grafo y la dinámica, en el sentido de cómo el primero condiciona, modela o, incluso, determina el segundo. El objetivo final de este estudio es precisamente conocer qué relaciones existen entre ciertas medidas de grafos y diversos indicadores de las estructuras informacionales soportados en los mismos. Recordemos que una estructura informacional es la caracterización geométrica del atractor global y, por consiguiente, describe toda la dinámica posible de un sistema [4].

En un artículo reciente se comprobó que la estabilidad estructural global de la red ecológica definida en [5, 6] está directamente relacionada con la suma de los grados de la red [1, 7]. En el trabajo en curso, se han generado dos conjuntos de 100 digrafos de 15 vértices utilizando la distribución binomial negativa con suma de valencias constante 0.4 y con suma distribuidas uniformemente en el intervalo [0.2, 0.6], resp. Se ha computado el tamaño, número de triángulos, grado medio, media de los grados de los vértices adyacentes, diámetro, modularidad, media de la centralidad de cercanía, media de la centralidad armónica, centralidad de intermediación (por vértices y por aristas), centralidad de autovalor, transitividad y diversidad. De ser necesario, se ha tomado el grafo sin ponderar o no dirigido, en cuyo caso el peso de la arista es la media de los arcos correspondientes.

Los resultados se han comparado con las medidas de Estructuras Informacionales (IS, por sus siglas en inglés) definidas en [8]: frondosidad, número de niveles, criticalidad, valores de cooperación, mayor nivel de cooperación. Existe una importante correlación entre algunos de los parámetros computados (Figura 1.1), aunque es necesario profundizar en los resultados obtenidos.

REFERENCIAS

- [1] Portillo, J.R., Soler-Toscano F. y Langa J.A. Global structural stability and the role of cooperation in mutualistic systems. *PLoS ONE* **17** (2022), no. 4.

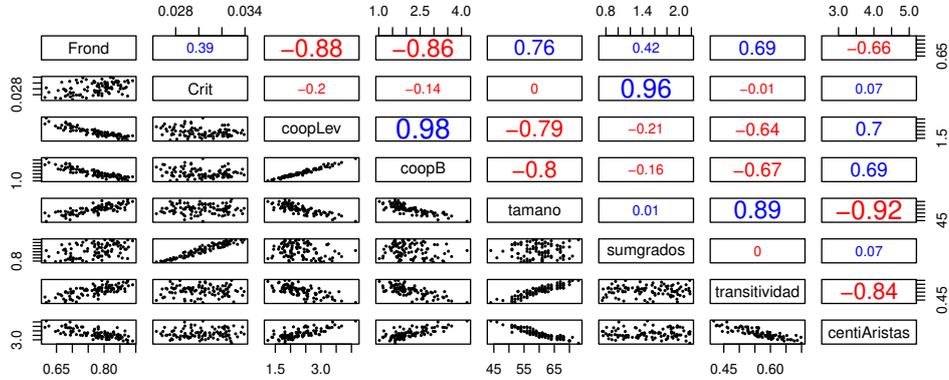


Figura 1.1: Correlaciones entre medidas IS y parámetros de grafos

- [2] Stoklosa, J., Blakey, R. V. y Hui, F. K. An overview of modern applications of negative binomial modelling in ecology and biodiversity. *Diversity* **14** (2022), no. 5.
- [3] Ortega, R., Fortuna, M. A. y Bascompte, J. <http://www.web-of-life.es>.
- [4] Esteban F.J., Galadí, J. Langa, J.A., Portillo, J.R. y Soler-Toscano, F. Informational structures: A dynamical system approach for integrated information. *PLoS Computational Biology* **14** (2018), no. 9. e1006154.
- [5] Bastolla U., Fortuna M.A., Pascual-García A., Ferrera A., Luque B. y Bascompte J. The architecture of mutualistic networks minimizes competition and increases biodiversity. *Nature*, **458** (2009), 1018-1020.
- [6] Rohr R.P., Saavedra S. y Bascompte J. On the structural stability of mutualistic systems. *Science*. **345** (2014).
- [7] Portillo, J.R., Soler-Toscano F. y Langa J.A. Cooperación en sistemas ecológicos mutualistas. *Actas de los XII EAMD* (2022), Jerez, España.
- [8] Soler-Toscano F., Galadí, J. et al. What lies underneath: Precise classification of brain states using time-dependent topological structure of dynamics. *PLoS Computational Biology* **18** (2022), no. 9.