

Redes y Sistemas Complejos

Bibiana Obregón Quintana
Francisco Javier Sevilla Pérez

Semestre 2025-1

El enfoque de redes y de la física estadística para modelar sistemas complejos, ha permitido el desarrollo del estudio de estos últimos de manera amplia en las últimas décadas. Los sistemas complejos se caracterizan por estar formados por muchas componentes en interacción que dan lugar a la emergencia de fenómenos colectivos. Las redes consideran estas componentes como los nodos que las conforman y las interacciones entre ellos los enlaces que los conectan. Las interacciones dependen de cada sistema complejo, los cuales no son específicos de un campo particular del conocimiento, dado que pueden observarse en sistemas reales físicos, biológicos y sociales, por ejemplo: los sistemas fisiológicos, los eventos climatológicos o el comportamiento social. La física estadística ha abordado también el estudio de muchas componentes en interacción y de la emergencia de fenómenos colectivos, este paralelismo con el enfoque de redes ha dado lugar a la física estadística de redes, en donde las redes son ahora el objeto de estudio.

En los últimos cinco años aproximadamente, se ha evidenciado la necesidad de traspasar una limitación intrínseca de las redes, esto es, los enlaces que las componen describen solamente la interacción entre pares de elementos que las conforman. En contraste, muchos sistemas reales requieren incorporar efectos de interacciones de orden superior, es decir, de interacciones que involucran grupos de tres o más elementos. Motivados por esta necesidad se han considerado redes con estructura de orden superior, hipergrafos y complejos simpliciales, como un marco matemático natural para representar la organización real de muchos sistemas, tanto sociales como biológicos, así como hechos por el hombre. Dichos marcos generalizan el concepto de enlace entre pares de nodos y lo extienden al de hiperenlace entre subconjuntos de

nodos para considerar las interacciones globales.

Este curso está diseñado para presentar de manera transdisciplinaria los sistemas complejos desde el enfoque de la ciencia de redes y de la física estadística. Inicialmente se introducen las bases de ambos enfoques, para abordar los efectos de interacciones de orden superior. Es una propuesta integrada y autocontenida, para estudiantes que tengan interés en desarrollar investigación en este tema.

El temario consta de 14 temas dirigidos al estudio de los Sistemas Complejos modelados con redes. El caso de estudio se trabajará en conformidad con los temas de interés de los alumnos inscritos, sin embargo, el enfoque del marco teórico requiere que se presente de manera específica temas de Física Estadística y de Ciencia de Redes. A continuación, se enlistan los temas que se impartirán en el curso:

Temario

1. Antecedentes y Motivación
2. Introducción a Sistemas Complejos
3. Propiedades de los Sistemas Complejos
4. Redes Complejas, Modelos y Estructuras de Redes
5. Topología y Métricas de Redes
6. Introducción a Redes Multicapa
7. Comunidades y Modularidad
8. Medidas de Centralidad
9. Robustez
10. La Física Estadística de Redes
11. Teoría de la Percolación en Redes
12. Entropía
13. Modelos de Contagio Social
14. Introducción a Redes de Orden Superior

Referencias

- [1] Thurner, S., Hanel, R., and Klimek, P. Introduction to the Theory of Complex Systems. Oxford University Press (2018)
- [2] Mortessagne, F., George, G., and LeBellac, M. Cambridge University Press (2004)
- [3] Bertin, B. A Concise Introduction to the Statistical Physics of Complex Systems. Springer (2012)
- [4] Barabási, A. L. Network Science. Cambridge University Press (2016)
- [5] Barrat, A., Barthélemy, M., and Vespignani, A. Dynamical Processes on Complex Networks. Cambridge University Press (2008)
- [6] Latora, V., Nicosia, V., Russo, G. Complex Networks. Principles, Methods and Applications. Cambridge University Press (2017)
- [7] Newman, M. E. J. Networks. An Introduction. Oxford University Press (2010)
- [8] Strogatz, S. H. Nonlinear Dynamics and Chaos. With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering. Perseus Books (1994)
- [9] Bianconi, G. Multilayer Networks. Structure and Function. Oxford University Press (2018)
- [10] Bianconi, G. Higher-Order Networks. An Introduction to Simplicial Complexes. Cambridge University Press (2021)