

## INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE SISTEMAS COMPLEJOS

# CURSO 2

MODELADO DE SISTEMAS COMPLEJOS

INVESTIGADORES Y ESTUDIANTES DE POSGRADO



Espacio Interdisciplinario  
Universidad de la República  
Uruguay

Responsable del curso: Dr. Gabriel Brida

Asistentes: Mag. Sergio Palomeque, Mag. Emiliano Alvarez

Profesores invitados: Dra. Viktoriya Semeshenko, Dr. Nicolás Garrido

## Objetivos

El objetivo de este curso es introducir a los estudiantes de distintas disciplinas en los instrumentos de la teoría de sistemas complejos para ayudar a comprender el funcionamiento de distintos fenómenos de las ciencias sociales o naturales.

### Objetivos Específicos

- Presentar casos de utilización de instrumentos de los sistemas complejos para modelar distintos problemas.
- Brindar una breve reseña del cuerpo teórico que está por detrás del marco teórico de los sistemas complejos.
- Exponer los fundamentos para el estudio de sistemas complejos, por medio del uso de Modelos Computacionales y Modelos Basados en Agentes.
- Presentar a los estudiantes el análisis de diversos modelos, utilizando instrumentos de la teoría de sistemas complejos.

## Diseño del curso

El curso se desarrollará en cuatro módulos:

- Los módulos I y II (10 horas) los desarrollará Viktoriya Semeshenko entre los días jueves 26, viernes 27 y sábado 28 de octubre
- Los módulos III y IV (10 horas) los desarrollará Nicolás Garrido entre los días sábado 28, lunes 30 de octubre y miércoles 1 de noviembre.
- Finalmente, el curso se completará con un taller de 10 horas de cada disciplina.

## Programa

---

### Primer Módulo: Sistemas Complejos

#### Introducción a los Sistemas Complejos

Introducción. Sistemas dinámicos no lineales y estudio de los sistemas complejos. Representación de los agentes en sistemas complejos. Interacciones locales (micro) y fenómenos emergentes (macro). Uso de simulaciones para el estudio de fenómenos emergentes. Exploraciones en Sistemas Complejos: Autómatas Celulares, Modelos Computacionales con Agentes.

Duración: 5 horas.

El análisis de sistemas de diversos campos cuya evolución se determina por la interacción de gran número de elementos ha llevado al desarrollo de nociones e instrumentos que pueden ser útiles para el análisis de fenómenos sociales. Esta sección presenta un esbozo general del tema, como introducción a un tratamiento específico de problemas asociados a los sistemas complejos.

#### Referencias

- Anderson, P. W. (1972). More is different. *Science*, 177(4047), 393-396.
- Axelrod, R. (1997a) Axelrod, R. (1997). Advancing the art of simulation in the social sciences. In *Simulating social phenomena*, 21-40. Springer Berlin Heidelberg.
- Heymann, D., Perazzo, R., & Zimmermann, M. (2013). *Economía de fronteras abiertas: exploraciones en sistemas sociales complejos*. Teseo - UdeSA, caps. 1, 2.
- Reiss, J. (2011). A plea for (good) simulations: nudging economics toward an experimental science. *Simulation & Gaming*, 42(2), 243-264.
- Schelling, T. C. (1978). *Micromotives and Macrobehavior*. George J. McLeod Ltd.

### Segundo Módulo: Redes Complejas. Mecanismos de propagación y amplificación.

Diferentes tipos de redes: redes aleatorias, el modelo Érdos-Renyi; redes invariantes de escala, el modelo Barabasi-Albert, el modelo Watts-Strogatz. Mecanismos de propagación y amplificación.

Duración: 5 horas

Otro aspecto central de los sistemas complejos es la presencia de efectos que difunden y multiplican la intensidad de perturbaciones. Aquí se presentan algunos modelos de la literatura económica que han buscado analizar estos mecanismos. También se discuten formas en que la configuración de las redes de vinculación entre agentes influye sobre la transmisión de impulsos. En este módulo se presentan los resultados básicos de la Teoría de las Redes Complejas, y algunas aplicaciones a las Ciencias Sociales y Naturales.

#### Referencias:

- Albert, R., & Barabási, A. L. (2002). Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of modern physics*, 74(1), 47.
  - Bak, P., Chen, K., Scheinkman, J., & Woodford, M. (1993). Aggregate fluctuations from independent sectoral shocks: self-organized criticality in a model of production and inventory dynamics. *Ricerche Economiche*, 47(1), 3-30.
  - Barabási, A. L., & Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. *Science*, 286(5439), 509-512.
  - Battiston, S., Gatti, D. D., Gallegati, M., Greenwald, B., & Stiglitz, J. E. (2012). Liaisons dangereuses: Increasing connectivity, risk sharing, and systemic risk. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 36(8), 1121-1141.
  - Erdős, P., Rényi, A. (1959). On Random Graphs. I. *Publicationes Mathematicae* 6: 290–297.
  - Haldane, A. G., & May, R. M. (2011). Systemic risk in banking ecosystems. *Nature*, 469(7330), 351-355.
  - Korinek, Anton, Systemic Risk-Taking: Amplification Effects, Externalities, and Regulatory Responses (May 20, 2011). ECB Working Paper No. 1345. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=1847483>
  - Nier, E., Yang, J., Yorulmazer, T., & Alentorn, A. (2007). Network models and financial stability. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 31(6), 2033-2060.
  - Watts, D. J. (1999). *Small worlds: the dynamics of networks between order and randomness*. Princeton University Press.
  - Watts, D. J., & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature*, 393(6684), 440-442.
- 

### Tercer Módulo: Modelos basados en agentes

Modelos y agentes. Heterogeneidad y racionalidad implícita. Diferencias respecto a los modelos basados en ecuaciones. Programación orientada a objetos / agentes. Usos de los modelos Basados en Agentes (MBA). Descripción y formulación. Protocolos para ver dentro de la “caja negra”. Calibración y robustez de los modelos. Análisis de sensibilidad. Duración 6 horas.

#### Referencias:

- Ballot, G., Mandel, A., & Vignes, A. (2015). Agent-based modeling and economic theory: where do we stand?. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 10(2), 199-220.

- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(3), 7280-7287.
- Grimm, V., Berger, U., DeAngelis, D. L., Polhill, J. G., Giske, J., & Railsback, S. F. (2010). The ODD protocol: a review and first update. *Ecological Modelling*, 221(23), 2760-2768.
- Grimm, V., Polhill, G., & Touza, J. (2013). Documenting social simulation models: the ODD protocol as a standard. In *Simulating Social Complexity*, 117-133. Springer Berlin Heidelberg.
- Kahn, K. (2015). An Introduction to Agent-Based Modeling. *Physics Today*, 68(8), 55.
- Macal, C. M., & North, M. J. (2010). Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 4(3), 151-162.
- Railsback, S. F., & Grimm, V. (2011). *Agent-based and individual-based modeling: a practical introduction*. Princeton University Press.

---

## Cuarto Módulo: Ejemplos y uso software

Ejemplos: modelo de segregación, modelo Bar El Farol, modelos de difusión, modelos de elección binaria / múltiple. Integración con R y otros paquetes matemáticos / estadísticos. Simulación espacial con GIS e integración con técnicas de big data. Validación, verificación y replicación. Modelos de redes: tipos de redes y medidas de centralidad. Hubnet: experimentos con intervenciones y decisiones humanas. Duración 4 horas.

### Referencias:

- Axelrod, R. (1997b). The dissemination of culture: A model with local convergence and global polarization. *Journal of Conflict Resolution*, 41(2), 203-226.
- Garson, G. D. (2009). Computerized simulation in the social sciences: a survey and evaluation. *Simulation & Gaming*, 40(2), 267-279.
- Gonzalez, M. C., Hidalgo, C. A., & Barabasi, A. L. (2008). Understanding individual human mobility patterns. *Nature*, 453(7196), 779-782.
- Heymann, D., Kawamura, E., Perazzo, R., & Zimmermann, M. G. (2014). Behavioral heuristics and market patterns in a Bertrand–Edgeworth game. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 105, 124-139.
- Railsback, S. F., & Grimm, V. (2011). *Agent-based and individual-based modeling: a practical introduction*. Princeton University Press.
- Schelling, T. C. (1969). Models of segregation. *The American Economic Review*, 59(2), 488-493.
- Schelling, T. C. (1971). Dynamic models of segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, 1(2), 143-186.

- Wilensky, U., & Rand, W. (2007). Making models match: Replicating an agent-based model. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 10(4), 2.
- 

## Taller:

Se brindará a los estudiantes los elementos esenciales para construir un MBA, haciendo uso del repositorio de código abierto disponible. Esta etapa incluye la redacción del pseudocódigo, la reutilización de código abierto y la posterior compilación en el IDE elegido.

Considerando que muchos de los participantes se aproximarán por primera vez a este tipo de herramientas, se presentarán algunos modelos vistos en los módulos anteriores. Esto permitirá observar cómo al partir de comportamientos individuales heterogéneos se puede llegar a dinámicas agregadas que no son previsibles a priori, para luego comprender cómo estas herramientas hacen posible el estudio de este tipo de fenómenos.

En la instancia de taller, se propondrán un conjunto de modelos de referencia en las Ciencias Sociales y se plantearán ciertas críticas a sus supuestos. La idea central radica en cómo aplicar MBA para estudiarlo que sucede en estos modelos, buscando a su vez superar estas críticas. A partir de este punto, los participantes podrán dividirse en grupos para trabajar sobre el modelo que prefieran y buscar aplicar MBA, como alternativa para superar las limitaciones observadas en el modelo elegido.

Para el presente taller no es necesario tener conocimientos previos en materia de programación ni en MBA. Pese a esto, sí es necesario tener conocimientos en el área de interés, ya que se hará una breve introducción de los fundamentos y las características de los modelos a ser estudiados.

El texto de referencia para el taller será “An introduction to agent-based modeling” de Uri Wilensky y William Rand, ya que cubre los aspectos centrales a trabajar. A su vez, se utilizarán como insumos artículos de referencia en Economía y Ciencias Sociales.

## Referencias:

- Wilensky, U., & Rand, W. (2015). *An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo*. MIT Press.

---

## Información:

Será parte integrante del curso la participación en el Workshop "Taller Interdisciplinario en Sistemas Complejos" que se realizará en el **Centro Cultural La Paloma, Rocha**. Más información se encuentra disponible en la página del Espacio Interdisciplinario.

El curso, con una carga horaria de 20hs, se desarrollará en el **Centro Cultural La Paloma, Rocha** ([ver mapa](#)) en los siguientes horarios:

Jueves 26/10: 14 a 19 hs

Viernes 27/10: 8 a 12 hs

Sábado 28/10: 8 a 12 hs

Lunes 30/10: 9 a 13 hs

Miércoles 01/11: 14 a 17 hs

El taller se llevará a cabo en el Centro de Posgrados de la FCEyA, Montevideo, Uruguay, en fechas a convenir con los interesados. Este tendrá una carga horaria de 10 horas presenciales.

Se otorgarán 10 becas para transporte desde Montevideo, alojamiento y alimentación. A los becarios se les solicitará como contrapartida una asistencia de 10 hs al Workshop y participar como comentaristas en algunas sesiones. La información para la inscripción y la solicitud de becas se encuentra disponible en la página del Espacio Interdisciplinario.

---

### Evaluación:

La evaluación consiste en dos pruebas parciales de ejercicios y/o teoría (al final del módulo II y al final del módulo IV), una evaluación de las actividades del Workshop y del trabajo final del taller de cada disciplina.