

Modelado de complejidad en medicina, biología y neurociencia

Programa – Mayo de 2012

Carlos Reynoso
Universidad de Buenos Aires
<http://carlosreynoso.com.ar>

Justificación y objetivos

Tal como se ha ido gestando en lo que va del siglo, la ciencia de la complejidad comprende un conjunto de familias algorítmicas que parecen ser heterogéneas pero que se encuentran atravesadas por un conjunto sistemático de propiedades idénticas cualquiera sea la disciplina de aplicación. Las más salientes de esas propiedades tal vez sean las de invariancia de escala, no linealidad, auto-organización, distribuciones de ley de potencia, emergencia, sensibilidad extrema a las condiciones iniciales, atractores extraños, criticalidad auto-organizada, fractalidad. Lo importante es que no se trata de cualidades raras o excepcionales, sino de las condiciones que se dan por defecto en buena parte de los casos de investigación apenas se mapea la realidad en un modelo. En este escenario, la ciencia de la complejidad se manifiesta menos como un conjunto de grandes esquemas o paradigmas teóricos que como un conjunto de algoritmos.

Aun cuando no haya involucrados factores de numerosidad, azar o incertidumbre y aunque las matemáticas involucradas no sean mayoritariamente cuantitativas, la implementación cabal de estas algorítmicas ha demostrado ser inseparable del modelado computacional. Y aunque el modelo de complejidad no llegue eventualmente a una consumación plena o no se constituya en el foco de la indagación, la experiencia en torno suyo revela invariablemente aspectos de las estructuras y de los procesos que contradicen al sentido común y que son irreductibles a las formas convencionales del conocimiento. Problemas que lucen simples a primera vista resultan ser, modelado mediante, lindantes con la intratabilidad; otros que parecen imposibles de abordar prueban ser, por el mismo recurso, de tratamiento relativamente trivial.

Por añadidura, el hecho de que buena parte de los problemas de la ciencia empírica resultan ser problemas inversos, sumado a factores irreductibles de no linealidad y no convexidad, ponen de manifiesto paradojas y dilemas cuantitativos y cualitativos que no son siempre accesibles a la visión directa y que sólo las técnicas de modelado son capaces de afrontar.

El seminario que aquí se propone tiene como objetivo familiarizar a investigadores de diversos perfiles profesionales y orientación académica en el modelado de problemáticas complejas a escala real. El curso ha sido articulado de modo tal que permite desarrollar conjuntamente una reflexión epistemológica en profundidad y una práctica operativa en un plano transdisciplinario. Si bien los estudios de casos a referir conciernen

primordialmente a la medicina, la biología, la neurociencia y la gestión hospitalaria, las mismas formas de modelado, en el nivel de abstracción adecuado, pueden ser aplicables a cualquier otro campo de la ciencia y la gestión.

Al final del seminario el cursante será capaz de comprender las problemáticas complejas involucradas en su objeto, establecer modelos de investigación, escoger los instrumentos de diseño y definir estrategias de formulación conforme a las pautas de estado de arte en las ciencias de la complejidad contemporáneas.

Metodología

El dictado del curso demanda 30 a 36 horas efectivas de cátedra. Las clases serán teórico-prácticas, siendo recomendable que se disponga de un laboratorio informático con las máquinas en red. El profesor suministrará la totalidad del software de código abierto o de uso académico libre y la bibliografía necesaria para la comprensión de los algoritmos y la realización de los ejercicios.

En tanto la matrícula del curso no supere los 30 asistentes, se ofrecerá también asistencia adicional para el seguimiento de las prácticas convenidas y para el desarrollo (inicialmente a nivel esquemático) de modelos de investigación que integren los algoritmos estudiados.

Requisitos y régimen de aprobación

Se espera que los asistentes al curso sean graduados activos en la investigación o la docencia. Aunque para la realización de las prácticas es recomendable alguna experiencia básica en el uso de computadoras, no será excluyente poseer conocimientos específicos de lenguajes de programación. Del mismo modo, pese a que las familias algorítmicas a tratar implican nociones de teoría de grafos, álgebra, combinatoria y recursividad no se requiere conocimiento previo de las matemáticas implicadas.

Los requisitos para el cursado, el régimen de asistencia y la aprobación del seminario se ajustarán a las normas usuales de la institución para las materias de posgrado.



Dr. Carlos Reynoso
Facultad de Filosofía y Letras
Facultad de Ingeniería
Universidad de Buenos Aires
<http://carlosreynoso.com.ar>
billyreyno@hotmail.com

Modelado de complejidad en medicina, biología y neurociencia

Programa – Mayo de 2012

Carlos Reynoso
Universidad de Buenos Aires
<http://carlosreynoso.com.ar>

Programa analítico

1. Introducción a la complejidad. Demarcación. Formulaciones discursivas vs modelado algorítmico complejo. Clases de complejidad. Conceptos fundamentales: no-linealidad, recursividad y emergencia. Dinámica no lineal y caos determinista. Sincronización caótica. Formación de patrones y atractores extraños. Procesamiento no lineal de señales biomédicas. Gráficos de recurrencia. Prácticas con ecuación logística, análisis de series temporales y modelos de difusión.
2. Geometría y dimensión fractal. Problemas de escala en la ciencia convencional. Fractalidad. Invariancia de escala. Autosimilitud y auto-organización. Modelado matemático y cálculo de la dimensión fractal. Análisis espectral y *wavelets*. Prácticas de cálculo dimensional, análisis y síntesis de patrones biomorfos.
3. Redes complejas, percolación y epidemiología. Evolución de grafos. Distribuciones estadísticas: de la distribución normal a la ley de potencia. Tipos de modelos epidemiológicos complejos. Prácticas de modelado epidemiológico con STEM. Analogías y especificidades de las redes sociales y las redes químicas o biológicas. Análisis y visualización de redes de alta complejidad con ORA, Cytoscape y Network Workbench.
4. Sistemas complejos adaptativos. Modelado con autómatas celulares, modelos basados en agentes y vida artificial. Modelos microscópicos de predicción, contingencia y sostenibilidad en gestión hospitalaria. Prácticas con Quo Vadis y NetLogo.
5. Metaheurísticas basadas en la biología. De las metáforas biológicas a los modelos algorítmicos. Algoritmo genético y programación evolucionaria. Computación natural, biomímica y bioinformática. Inteligencia computacional: metaheurísticas, conjuntos toscos y minería de datos. Prácticas de resolución de problemas no convexos con algoritmo genético y afines.
6. Neurociencia, complejidad y cognición. Introducción a la neurociencia computacional: Más allá de las redes neuronales. Neurociencia social cognitiva. Lenguaje y cerebro. Modelos dinámicos complejos en neurociencia y ciencia cognitiva. Prácticas de modelado.

Referencias bibliográficas

1 – Introducción a la complejidad

- Akay, Metin (editor). 2001. *Nonlinear biomedical signal processing. Dynamic analysis and modeling. Vol. II*. Nueva York, IEEE Press.
- Alexander, Colin James. 2010. *Complexity and medicine: The elephant in the waiting room*. Nottingham, Nottingham Press.
- Allman, Elizabeth y John Rhodes. 2004. *Mathematical models in biology. An introduction*. Cambridge (USA), The MIT Press.
- Bonchev, Danail y Dennis Rouvray (editores). 2005. *Complexity in chemistry, biology, and ecology*. Nueva York, Springer.
- Deisboeck, Thomas y Jascha Kresh (editores). 2005. *Complex systems science in biomedicine*. Nueva York, Springer.
- de Vries, Gerda, Johannes Müller, Thomas Hillen, Birgitt Schönfisch y Mark Lewis. 2006. *A course in mathematical biology: Quantitative modeling with mathematical and computational methods*. Filadelfia, SIAM.
- Edelstein-Keshet, Leah. 2005. *Mathematical models in biology*. Filadelfia, Siam.
- Kaneko, Kunihiko. 2006. *Life: An introduction to complex system biology*. Berlín y Heidelberg, Springer Verlag.
- Meyers, Robert A. (editor). 2009. *Encyclopedia of complexity and systems science*. Berlín-Nueva York, Springer.
- Mosekilde, Eric, Yuri Maistrenko y Dmitri Postnov. 2002. *Chaotic synchronization: Application to living systems*. Singapur, World Scientific.
- Otto, Sarah y Troy Day. 2007. *A biologist's guide to mathematical modeling in ecology and evolution*. Princeton, Princeton University Press.
- Reynoso, Carlos. 2006. *Complejidad y caos: Una exploración antropológica*. Buenos Aires, Editorial Sb.
- Reynoso, Carlos. 2009. *Modelos o metáforas: Crítica de la epistemología de la complejidad de Edgar Morin*. Buenos Aires, Editorial Sb.
- Small, Michael. 2005. *Applied nonlinear time series analysis: Applications in physics, physiology and finance*. Singapur, World Scientific.
- Walleczek, Jan. 2000. *Self-organized biological dynamics and nonlinear control*. Cambridge, Cambridge University Press.

2 – Geometría y dimensión fractal

- Addison, Paul. 2002. *The illustrated wavelet transform handbook: Introductory theory and applications in science, engineering, medicine and finance*. Bristol y Filadelfia, Institute of Physics Publishing.
- Dewey, T. Gregory. 1997. *Fractals in molecular biophysics*. Oxford, Oxford University Press.
- Diekmann, Odo, Richard Durrett, Karl Peter Hadeler, Philip Maini y Hal Smith. 1997. *Mathematics inspired by biology*. Berlín y Heidelberg, Springer.

- Kaandrop, Jaap. 1994. *Fractal modelling, growth and form in biology*. Berlín, Heidelberg y Nueva York, Springer Verlag.
- Losa, Gabriele, Danilo Merlini, Theo Nonnenmacher y Ewald Weibel (editores). 2005. *Fractals in biology and medicine*, vol. 4, Basilea-Boston-Berlín, Birkhäuser Verlag.
- Meyer-Bäse, Anke. 2004. *Pattern recognition for medical imaging*. San Diego, Elsevier Academic Press.
- Murray, J. D. 2002. *Mathematical biology. I. An introduction*. 3ª edición, Nueva York, Springer.
- Murray, J. D. 2003. *Mathematical biology. II. Spatial models and biomedical applications*. 3ª edición, Nueva York, Springer

3 – Redes complejas, epidemiología y percolación

- Barrat, Alain, Marc Barthélemy y Alessandro Vespignani. 2008. *Dynamical processes in complex networks*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Blasius, Bernd, Jürgen Kurths y Lewi Stone. 2007. *Complex population dynamics: Nonlinear modeling in ecology, epidemiology and genetics*. Singapur, World Scientific.
- Brauer, Fred, Pauline van den Driessche y Jianhong Wu (editores). 2008. *Mathematical epidemiology*. Berlín y Heidelberg, Springer-Verlag.
- Chowell, Gerardo, James Hyman, Luís Bettencourt y Carlos Castillo-Chavez (editores). 2009. *Mathematical and statistical estimation approaches in epidemiology*. Dordrecht, Springer.
- Dehmer, Matthias y Frank Emmert-Streib (editores). 2009. *Analysis of complex networks. From biology to linguistics*. Weinheim, Wiley-VCH Verlag.
- Deutsch, Andreas, Rafael Bravo de la Parra, Rob J. de Boer, Odo Diekmann, Peter Jagers, Eva Kisdi, Mirjam Kretzschmar, Petr Lansky y Hans Metz (editores). 2008. *Mathematical modeling of biological systems. Vol II, Epidemiology, Evolution and ecology, Immunology, Neural systems and the brain and Innovative mathematical models*. Boston, Basilea y Berlín, Birkhäuser.
- Feng, Jianfeng, Jürgen Jost y Minping Qian (editores). 2007. *Networks: From biology to theory*. Londres, Springer.
- Ganguly, Niloy, Andreas Deutsch y Animesh Mukherjee (editores). 2009. *Dynamics on and of complex networks: Applications to biology, computer science and the social sciences*. Boston, Basilea y Berlín, Birkhäuser.
- Képès, François (editor). 2007. *Biological networks*. Singapur, World Scientific.
- Koonin, Eugene, Yuri Wolf y Georgy Karev. 2006. *Power laws, scale-free networks and genome biology*. Nueva York, Springer.
- Magel, Pierre y Shigui Ruan (editores). 2008. *Structured population models in biology and epidemiology*. Berlín y Heidelberg, Springer-Verlag.
- Rao, C. R., J. P. Miller y D. C. Rao (editores). 2008. *Handbook of statistics. 27. Epidemiology and medical statistics*. Amsterdam, Elsevier.
- Reynoso, Carlos. 2011. *Redes sociales y complejidad: Modelos interdisciplinarios en la gestión sostenible de la sociedad y la cultura*. Buenos Aires, Editorial Sb.
- Reynoso, Carlos. 2011. *Atolladeros del pensamiento aleatorio: Batallas en torno de la prueba estadística de la hipótesis nula*. <http://carlosreynoso.com.ar/atolladeros-del-pensamiento-aleatorio-batallas-en-torno-de-la-prueba-estadistica/>
- Sahimi, Muhammad. 1993. *Applications of percolation theory*. Taylor & Francis.

Trostle, James. 2005. *Epidemiology and culture*. Cambridge, Cambridge University Press.

4 – Sistemas complejos adaptativos

Deutsch, Andreas y Sabine Dormann. 2005. *Cellular automaton modeling of biological pattern formation: Characterization, applications, and analysis*. Boston, Birkhäuser.

Hoyle, Rebecca. 2006. *Pattern formation*. Cambridge, Cambridge University Press.

Johnston, John. 2005. *The allure of machinic life: Cybernetics, artificial life, and the new AI*. Cambridge (USA), The MIT Press.

Sun, Ron (editor). 2006. *Cognition and multi-agent interaction: From cognitive modeling to social simulation*. Cambridge, Cambridge University Press.

Wolfram, Stephen. 2002. *A new kind of science*. Champaign, Wolfram Media.

5 – Metaheurísticas biológicas

Ballard, Dana. 1997. *An introduction to natural computation*. Cambridge (USA), The MIT Press.

Floreano, Dario y Claudio Mattiussi. 2008. *Bio-inspired artificial intelligence: Theories, methods, and technologies*. Cambridge (USA), The MIT Press.

Fogel, Gary y David Corne (editores). 2003. *Evolutionary computation in bioinformatics*. San Francisco, Morgan Kaufmann.

Glover, Fred y Gary Kochenberger. 2003. *Handbook of meta-heuristics*. Nueva York, Kluwer Academic Publishers.

Gramß, Tino, Stephan Bornholdt, Michael Groß, Melanie Mitchell y Thomas Pellizzari (editores). 1997. *Nonstandard computation: Molecular computation - Cellular automata – Evolutionary algorithms – Quantum computers*. Weinheim / Nueva York, Wiley-VGH.

Marchiori, Elena, Jason Moore y Jagath C. Rajapakse (editores). 2007. *Evolutionary computation, machine learning and data mining in bioinformatics. 5th European Conference, EvoBIO 2007 - Valencia, Spain, April 11-13, 2007 Proceedings*. Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer.

Passino, Kevin. 2005. *Biomimicry for optimization, control, and automation*. Londres, Berlín y Heidelberg, Springer-Verlag.

Pizzuti, Clara, Marylyn Ritchie y Mario Giacobini (editores). 2009. *Evolutionary computation, machine learning and data mining in bioinformatics. 7th European Conference, EvoBIO 2009 – Tübingen, Germany, April 2009 Proceedings*. Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer.

Pizzuti, Clara, Marylyn Ritchie y Mario Giacobini (editores). 2011. *Evolutionary computation, machine learning and data mining in bioinformatics. 9th European Conference, EvoBIO 2011 – Torino, Italia, April 2011 Proceedings*. Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer.

Smolinski, Tomasz, Mariofanna Milanova, Aboul-Ella Hassanien (editores). 2008. *Computational Intelligence in Biomedicine and Bioinformatics: Current trends and applications*. Berlín y Heidelberg, Springer-Verlag.

Zomaya, Albert (editor). 2006. *Handbook of nature-inspired and innovative computing: Integrating classical models with emerging technologies*. Nueva York, Springer Science+Business Media.

6 – Neurociencia, complejidad y cognición

- Caponetto, Riccardo, Luigi Fortuna y Mattia Frasca. 2008. *Advanced topics in cellular self-organized nets and chaotic nonlinear dynamics to model and control complex systems*. Singapur, World Scientific. (Cap. 2: Fenómenos emergentes en neurociencia).
- Dayan, Peter y L. F. Abbott. 2001. *Theoretical neuroscience: Computational and mathematical modeling of neural systems*. Cambridge (USA), The MIT Press.
- Érdi, Péter, Anna Esposito, Maria Marinaro y Silvia Scarpetta (editores). 2004. *Computational neuroscience: Cortical dynamics. 8th International Summer School of Neural Nets, Erice Italy, October 31-November 6, 2003*. Berlín y Heidelberg, Spriner Verlag.
- Goertzel, Ben. 1996. *From complexity to creativity: Emergent patterns and self-organizing dynamics in mental, computational and physical systems*. Plenum Press.
- Ivancevic, Vladimir y Tijana Ivancevic. 2007. *Computational mind: A complex dynamics perspective*. Dordrecht, Springer.
- Izhikevich, Eugene. 2005. *Dynamical systems in neuroscience. The geometry of excitability and bursting*. Cambridge (USA), The MIT Press.
- Port, Robert y Timothy Van Gelder (editores). 1995. *Mind as motion: Explorations in the dynamics of cognition*. Cambridge (USA), The MIT Press.
- Schnelle, Helmut. 2010. *Language in the brain*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Tuszynski, Jack (editor). 2006. *The emerging physics of consciousness*. Berlín-Heidelberg, Springer-Verlag.
- Ward, David. 2002. *Dynamical cognitive science*. Cambridge (USA), The MIT Press.