

**Universidade de Brasília**  
**Departamento de Economia**  
**ECO 133086**  
**(Métodos Matemáticos em Ciências Sociais Avançados)**  
**Prof. Bernardo Mueller**  
**2º / 2013**  
**Seg: 10:00-11:50 / Sex: 8:00-9:50**

### **Programa**

## **A Economia como um Sistema Complexo Adaptável**

*It's the best possible time to be alive, when almost everything you thought you knew is wrong.*  
Tom Stoppard, *Arcadia*.

*I think the next century will be the century of complexity.*  
Stephen Hawking, 2000.

Esta disciplina analisa a Economia como um sistema complexo adaptável. Esta é uma abordagem radicalmente diferente daquelas usualmente adotadas em cursos de Economia (sejam eles neoclássicos ou heterodoxos). Nestas abordagens tradicionais a economia é modelada como consistindo de um sistema fechado, composto de agentes homogêneos (ou representativos), hiper-rationais, em contextos não-locais e isentos de tempo e instituições, de uma maneira reducionista e linear que supõe que o todo é a mera soma das partes, num mundo Gaussiano e ergódico, buscando sempre e de maneira mecânica equilíbrios que só são perturbados por forças exógenas, levando a uma suposição de que é possível atingir altos níveis de previsibilidade sobre os rumos da economia e grande maleabilidade através de políticas impostas de cima para baixo. Além disto, estas abordagens costumam ser impermeáveis a outras disciplinas ou tem pretensões de imperialismo. É verdade que nas últimas décadas grandes esforços têm sido realizados em diferentes literaturas para relaxar algumas destas limitações, por exemplo, introduzindo instituições, assimetria de informação, incerteza, espacialidade, racionalidade limitada, etc. No entanto, estes avanços geralmente consistem em pequenas alterações nas margens, mantendo o mesmo corpo básico, pois nenhuma destas abordagens relaxa todas estas limitações simultaneamente. Já uma abordagem da Economia como um sistema complexo adaptável trata a economia como um sistema aberto, dinâmico, não linear e distante de equilíbrios, composto de diversos (e não 1, 2 ou infinitos como a Economia Tradicional) agentes heterogêneos, que tem informação incompleta e seguem regras simples e locais, sujeitos a erros e vieses, aprendendo e adaptando ao longo do tempo, interagindo em redes explicitamente modeladas que mudam ao longo do tempo, levando à emergência (*emergence*) de características do sistema que não podem ser previstas, nem facilmente derivadas das regras seguidas pelos agentes individuais, sendo esta complexidade de origem determinística e não derivada da inserção de elementos estocástico na análise.

O exemplo canônico de sistema complexo adaptável é a análise de Adam Smith onde o bem-estar de um indivíduo surge não da 'benevolência do açougueiro, do cervejeiro e do padeiro mas sim do interesse próprio destes senhores, que ao perseguir seu próprio interesse promovem o bem-estar da sociedade como um todo de maneira mais eficaz do que se realmente intencionassem promovê-lo'. Ou seja, Smith (1776) modelou a economia como consistindo de diversos agentes heterogêneos seguindo regras simples, que através de sua interação levam de maneira descentralizada e sem coordenação à emergência de um resultado agregado surpreendente e inesperado dado a natureza do comportamento no nível micro. Infelizmente este início auspicioso das Ciências Econômicas rapidamente tomou uma direção Cartesiana onde um problema maior é estudado decompondo-o em pequenas partes simples que depois são juntadas linearmente para se obter uma compreensão do todo integrado. Mais explicitamente, a Economia seguiu as outras ciências no século 19 na busca de uma abordagem mecanicista Newtoniana que visa 'uma idealização matemática precisa para unificar e ao mesmo tempo quantitativamente prever o comportamento dos mais diversos fenômenos' (Ryan, 2008). De fato, sabe-se que Walras, que primeiro juntou matemática com economia, se baseou explicitamente nos livros de física da época (em particular no capítulo 2 do livro *Elements of Physics* de Poincaré de 1896, cujo título era "On conditions of equilibrium expressed by means of equations.") Pelo final do século 20 os economistas haviam refinado e avançado estas abordagens Newtonianas e Cartesianas da Economia para formar uma série de modelos

rigorosos e matematicamente bem definidos (Beinhocker, 2007: 48). No entanto, a esta altura a grande maioria das outras ciências haviam evoluído e abandonado este paradigma Newtoniano mecanicista e avançado para visões menos reducionistas, reconhecendo que muitos dos fenômenos mais interessantes do mundo têm características de sistemas complexos que são melhores compreendidos através do estudo da análise das interações entre agentes heterogêneos seguindo regras simples que levam à emergência de um todo maior que a soma das partes. Assim, em 1987 quando o Santa Fé Institute, que é hoje um dos principais centros de estudo de complexidade, realizou a lendária conferência entre cientistas físicos e economistas (presentes Arrow, Larry Summers e José Scheinkman, entre outros), os cientistas físicos ficaram impressionados com o intelecto dos economistas, mas ficaram também chocados como as teorias e métodos usado pelos economistas pareciam relíquias de outras eras. A sensação, descreveu um cientista físico, era parecida com um viagem a Cuba, ou seja, um lugar parado no tempo e fechado do mundo com as ruas cheias de carros velhos da década de 50, onde era ao mesmo tempo valoroso e patético o esforço e a ingenuidade dos nativos para manter aqueles carros funcionando por tanto tempo usando peças resgatadas de velhos tratores soviéticos (Beinhocker, 2007: 47).

O propósito desta disciplina é apresentar uma alternativa a esta situação de embargo intelectual, há décadas sem contato com progresso científico, engenhosamente esticando, remendando e fazendo puxadinhos em velhas teorias ultrapassadas. Esta alternativa é uma aplicação da Teoria de Complexidade à Economia analisando-a como um sistema complexo adaptável.

A disciplina iniciará com uma serie de aulas sobre complexidade de um ponto de vista mais geral, aplicável a uma gama muito larga de fenômenos nas mais variadas áreas de ciências físicas, biológicas e sociais. Atenção especial será dado para emergência e auto-organização, caos vs complexidade vs aleatoriedade, evolução, redes, *path dependence*, *agent based modeling*, etc. Em seguida nós voltaremos para aplicações de complexidade específicas à Economia e outras ciências sociais. A ideia é manter a mente aberta para estes novos métodos, mas ao mesmo tempo ser bastante exigente para ver realmente estas novas abordagens representam uma melhora sobre o que predomina hoje na profissão. A maioria das aulas será dividida em duas partes. Na primeira haverá uma palestra tradicional preparada pelo professor, porém com o uso de vídeos de grandes expoentes da área, proveniente ou de conferências ou de MOOCs (*massive open online courses*, ver a lista destes abaixo.) Estes vídeos serão distribuídos para serem vistos também em casa, permitindo a discussão em sala de aula. Na segunda parte da aula usaremos o programa NetLogo (gratuito) para analisar computacionalmente modelos pré-programados que ilustram as interações entre agentes heterogêneos levando à fenômenos emergentes. Nesta primeira disciplina a ideia é compreender os modelos e o que eles nos dizem alterando os parâmetros, sem necessariamente mexer muito com a programação (*coding*). No entanto, quando possível iremos mexer com os códigos. Entre outros, analisaremos os seguintes modelos computacionais: celular automata (Von Neumann e Ulam), Sugarscape (Epstein e Axtell), El Farol (Arthur), Segregação (Schelling), Standing Ovation Models (Schelling), rebeliões, tráfego, dilema dos prisioneiros evolucionário, formigas e o problema do caixeiro viajante, incêndio florestal, cardumes de peixes e revoada de pássaros, predação entre lobos e carneiros, eleições.

Necessariamente a bibliografia, os vídeos e os modelos computacionais serão em inglês, pois não há material em português. Haverá três provas ao longo da disciplina e uma apresentação por grupos de alunos de algum modelo computacional, mostrando seu contexto, sua implementação e suas lições.

Avaliação:

Três provas – 20% cada

Controles de leitura – 15%

Participação e presença: 10%

Trabalho de grupo: 15%

### **Livros texto:**

Miller, John H. and Scott E. Page. 2007. *Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life*. Princeton University Press.

Beinhocker, Eric D. 2007. *The Origin of Wealth: The Radical Remaking of Economics and What it Means for Business and Society*. Harvard Business School Press.

Railsback, Steven F. and Volcker Grimm. 2012. *Agent-Based and Individual-Based Modeling: A Practical Introduction*. Princeton University Press.

**MOOCs** (Massive Online Open Courses - os arquivos serão disponibilizados.)

*Introduction to Complexity* –Melanie Mitchell, Santa Fe Institute.

<http://www.santafe.edu/education/schools/sfi-mooc/introduction-complexity/>

*Model Thinking* – Scott Page, University of Michigan. (Cousera)

<https://www.coursera.org/course/modelthinking>

*Human Behavioral Biology* – Robert Sapolsky, Stanford University

<https://itunes.apple.com/us/itunes-u/human-behavioral-biology/id404310362>

*Agent Based Modeling of Complex Adaptive Systems* – IgorNikolic

Delft University of Technology

<http://ocw.tudelft.nl/courses/tpm-minors-and-electives/agent-based-modeling-of-complex-adaptive-systems-basic/lectures/introduction-to-complexity/>

## **Métodos Computacionais e Netlogo**

On-Line Guide for Newcomers to Agent-Based Modeling in the Social Sciences

Robert Axelrod and Leigh Tesfatsion

<http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/abmread.htm>

Home-page do programa Netlogo. O programa pode ser baixado gratuitamente. Baixe e teste diferentes modelos pré-programados em File / Models Library.

<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

Modelling4All Project – University of Oxford

<http://m.modelling4all.org/>

## **PARTE 1 - Introdução**

### **Aula 1**

Descrição da disciplina; regras; requisitos e expectativas.

### **Aula 2**

Introdução: O que é complexidade? O que é Economia da Complexidade? Por que gastar tempo com isto? Qual o valor adicionado? Complemento ou substituto à teoria econômica tradicional?

Ler em casa:

Miller and Page. 2007. *Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life*. Chap. 1 – Introduction, pg. 3-8.

Ouçã em casa antes da aula:

Econ Talk: Nicolas Nassim Taleb (30 Abril, 2007)  
[http://www.econtalk.org/archives/2007/04/taleb\\_on\\_black.html](http://www.econtalk.org/archives/2007/04/taleb_on_black.html)

### **Aula 3**

#### ***Introduction to Complexity – Unit 8 – Models of Self-Organization***

Unit 8.1 – Introduction (3:25)  
Unit 8.2 – Flocking and Schooling (7:35)  
Unit 8.3 – Synchronization (12:26)  
Unit 8.4 – Ant Foraging and Task Allocation (12:27)  
Unit 8.5 – Information Processing in Self-Organizing Biological Systems (8:39)

#### *Agent-based Models*

Apresentação ao Netlogo.

Behaviour Composer – Oxford University

Using Agent-Based Modelling to Think About Complexity:

<http://weblearn.ox.ac.uk/access/site/3009ea63-015b-4138-9ab3-87717810b826>

Ouçã antes da aula:

**The Secret Life of Chaos** – BBC (59:12)

[http://www.dailymotion.com/video/xpxj1b\\_the-secret-life-of-chaos\\_tech](http://www.dailymotion.com/video/xpxj1b_the-secret-life-of-chaos_tech)

Ler em casa:

Miller and Page. 2007. *Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life*. Chap. 2 – Complexity in Social Worlds, pg. 9-31.

### **Aula 4**

#### ***Model Thinking – Scott Page (Coursera)***

Schelling Segregation Model (11:30)  
Peer Effects (6:58)  
Standing Ovation Model (18:05)

Sistemas Complexos Adaptáveis.

Aplicação às ciências sociais.

Métodos computacionais vs. Matemáticos.

#### *Agent-based Models*

Ler em casa:

Introdução de Melanie Mitchel.

## **PARTE 2 – Ciência da Complexidade**

### **Aula 5**

#### ***Introduction to Complexity – Unit 1 – What is Complexity***

Unit 1.1 – Introduction (1:03)  
Unit 1.2 – Examples (8:29)  
Unit 1.3 – Common Properties (8:18)  
Unit 1.4 – Definitions (7:28)  
Unit 1.5 – Core disciplines (3:13)

Veja antes da aula:

**Agent Based Modeling of Complex Adaptive Systems – Igor Nikolic – TU Delft**

1. Introduction to SPM 9550 (Pular 23:23 a 30:22)

## **Aula 6**

*Introduction to Complexity – Unit 2 – Dynamics, Chaos and Fractals*

Unit 2.1 – Introduction (13:55)

Unit 2.2 – Iteration (9:29)

Unit 2.3 – Linear versus nonlinear systems (9:17)

Unit 2.4 – The logistic map (11:19)

Unit 2.5 – The period-doubling route to chaos (18:54)

Unit 2.6 – Universality in Chaos (11:00)

Netlogo exemplo 2 – Simple logistic Map 1 and 2.

Ouvir em casa: Melanie Mitchel - The Past and Future of Sciences of Complexity Part I.

Em particular a questão do ‘order parameter’. (Pasta: Past and Future of ...)

<https://itunes.apple.com/us/itunes-u/past-future-sciences-complexity/id381961808>

Video: Lorenz Wheel (attractors em vez de equilíbrio) (Pasta de vídeos)

## **Aula 7**

*Introduction to Complexity – Unit 6 – Cellular Automata*

Unit 6.1– Introduction (1:05)

Unit 6.2.1 – The Game of Life (7:14)

Unit 6.2.2 – The Game of Life (4:16)

Unit 6.2.3 – The Game of Life (7:14)

Unit 6.3.1 – Elementary Cellular Automata (5:08)

Unit 6.3.2 – Elementary Cellular Automata (5:45)

Unit 6.3.3 – Elementary Cellular Automata (5:00)

Unit 6.3.3 – Elementary Cellular Automata (3:35)

Unit 6.4 - Cellular Automata as Dynamical Systems (12:51)

Ouvir em casa: Melanie Mitchel - The Past and Future of Sciences of Complexity Part

III. Em particular a questão do ‘order parameter’. (Pasta: Past and Future of ...)

<https://itunes.apple.com/us/itunes-u/past-future-sciences-complexity/id381961808>

Ouçã em casa antes da aula:

**Model Thinking Scott Page:**

3-4 – Game of Life (14:36)

3-5 – Cellular Automata (18:07)

## **Aula 8**

**Emergence – Complexity from Simplicity, Order from Chaos - PBS**

Part 1 – (4:53)

<http://www.youtube.com/watch?v=gdQgoNit1lg>

Part 2 – (7:22)

[http://www.youtube.com/watch?v=S5NRNG1r\\_jI](http://www.youtube.com/watch?v=S5NRNG1r_jI)

Ouçã em casa antes da aula:

### **Robert Sapolsky – Stanford University**

Reduccionismo, Caos, complexidade, emergência, extrema sensibilidade à condições iniciais.

Lecture 21 – Chaos and Reductionism (1:37:33)

<http://www.youtube.com/watch?v=njf8jwEGRo>

### **Radiolab – Emergence** (audio 59:30)

<http://www.radiolab.org/2007/aug/14/>

## **Aula 9**

Scott Page – Forest Fire, El Farol, Tipping Points, Percolation Model (Unit 7), Scott Page

Ouçá em casa antes da aula:

### **Robert Sapolsky – Stanford University**

Reduccionismo, Caos, complexidade, emergência, extrema sensibilidade à condições iniciais.

Lecture 22 – Emergence and complexity (1:42:30)

[http://www.youtube.com/watch?v=o\\_ZuWbX-CyE](http://www.youtube.com/watch?v=o_ZuWbX-CyE)

Entrevista de Melanie Mitchell com Scott Page (Arquivo Complexity Economics Unit 8)

## **Aula 10**

Prova 1

## **PARTE 3 – Economia da Complexidade**

### **Aula 11**

Economia Tradicional vs. Economia da Complexidade

Beinhocker. 2006. The Origin of Wealth

Cap. 2 “Traditional Economics” (21-44)

Cap. 3 “A Critique” (45-75)

Assistir em casa:

1 of 5 Eric Beinhocker Complexity in Economic Theory - INET Panel (arquivo Complexity in Economic Theory Conference) (21:12)

[http://www.youtube.com/watch?v=oqPuYQW\\_cqY](http://www.youtube.com/watch?v=oqPuYQW_cqY)

### **Aula 12**

Arthur, Brian W. 2013. “Complexity Economics: A Different Framework for Economic Thought” Santa Fe Institute Working Paper 2013-04-012.

<http://www.santafe.edu/media/workingpapers/13-04-012.pdf>

Gintis (2006) “The Economy as a Complex Adaptive System” A Review of Eric D. Beinhocker, The Origins of Wealth: Evolution, Complexity, and the Radical Remaking of Economics.

<http://www.umass.edu/preferen/Class%20Material/Readings%20in%20Market%20Dynamics/Complexity%20Economics.pdf>

Ver em casa:

2 of 5 Brian Arthur\_ Complexity in Economic Theory - INET Panel Panel (arquivo Complexity in Economic Theory Conference) (18:06)

<http://www.youtube.com/watch?v=W0dGLEreBrM>

**Aula 13** - Críticas à Economia da Complexidade (textos no arquivo Polêmica Complexidade vs Economia Tradicional)

**The Economist:** Economics focus. Jul 20th 2006. "The Cambrian age of economics: Evolutionary economics is surviving, but not thriving.

**The Economist:** Economics focus. Apr 15th 2010. "Twin peaks: George Soros has left his mark on many economies. Can he do the same for economics?"

Paul Krugman. 1997. *The Power of Biobabble*. <http://www.pkarchive.org/cranks/bionomic.html>

Warsh, D. "What's in a Name?" <http://www.economicprincipals.com/issues/tag/eric-beinhocker>

**Aula 14** - Crescimento Econômico e Desenvolvimento uma abordagem via complexidade. Parte 1

Visão tradicional de Crescimento de Desenvolvimento: Políticas, Tecnologia, Geografia e Instituições.

Acemoglu, Daron, Johnson, Simon H. and Robinson, James A., "Institutions as the Fundamental Cause of Long-Run Growth" (June 2004). CEPR Discussion Paper No. 4458. (And Handbook of Economic Growth).

Ouçã em casa:

Podcast Robinson – LSE – "Why Nations Fail?"

<http://www2.lse.ac.uk/newsAndMedia/videoAndAudio/channels/publicLecturesAndEvents/player.aspx?id=1035>

**Aula 15** - Crescimento Econômico e Desenvolvimento uma abordagem via complexidade. Parte 2

**Model Thinking** - Scott Page (MOOC)

8.1 Introduction to Growth (6:43)

8.2 Exponential Growth (10:53)

8.3 Basic Growth Model (13:59)

8.4 Solow Growth Model (11:41)

8.5 Will China Continue to Grow (11:55)

8.6 Why do some Countries not Grow (11:30)

**Aula 16** - Crescimento Econômico e Desenvolvimento uma abordagem via complexidade. Parte 3

**Development and Complexity** – Owen Barder (44:54)

<http://www.youtube.com/watch?v=02EZPxPcFqs>

**Aula 17** - Crescimento Econômico e Desenvolvimento uma abordagem via complexidade. Parte 4

Alston, L., M. Melo, B. Mueller and C. Pereira. 2013. The Road to Prosperity: Beliefs, Leadership and Economic Development in Brazil.  
Chap.2 – “Beliefs, Leadership and Economic Transitions”.

## **Aula 18**

A Economia com agentes menos do que racionais – Parte 1

**Model Thinking** - Scott Page

Thinking Electrons Modeling People (6:29)

Rational Actor Models (16:09)

Behavioral Models (12:49)

Rule Based Models (12:30)

When Does Behavior Matter (12:40)

Ler em casa:

F.A. Hayek. 1945. “The Use of Knowledge in Society”, *American Economic Review*.  
XXXV, No. 4. pp. 519-30. American Economic Association

<http://www.econlib.org/cgi-bin/printarticle.pl>

## **Aula 19**

A Economia com agentes menos do que racionais – Parte 2

Ver em casa:

Dan Ariely – Are we in Control of our Lives? (arquivo ‘Vídeos’) (17:22)

[http://www.ted.com/talks/dan\\_ariely\\_asks\\_are\\_we\\_in\\_control\\_of\\_our\\_own\\_decisions.html](http://www.ted.com/talks/dan_ariely_asks_are_we_in_control_of_our_own_decisions.html)

Daniel Kahneman - The Machinery of the Mind (arquivo ‘Vídeos’) (47:27)

<http://www.youtube.com/watch?v=DUpqr7nWc3s>

Malcolm Gladwell – Blink (26:14)

<http://www.youtube.com/watch?v=3TRioBKpUwY>

## **Aula 20**

Prova 2

## **Aula 21**

Sugarscape – Criando uma economia *in-silico*.

Ler antes da aula:

Beinhocker, 2007, Chap. 4 “The Big Picture: Sugar and Spice” pg: 79-97.

## **Aula 22**

Comparando o mesmo modelo econômico usando abordagens diferentes: Economia Tradicional vs. Complexidade.

Ler antes da aula:



Alston, L., Libecap, G. and Mueller B., 2000, "Property Rights to Land and Land Reform: Legal Inconsistencies and the Sources of Violent Conflict in the Brazilian Amazon" *Journal of Environmental Economics and Management*, 39:162-188.

## **Aula 23**

Hausmann, Hidalgo et al. The Economic Complexity Index

Visite o site:

<http://atlas.media.mit.edu/about/>

Assista antes da aula:

Ricardo Hausmann na Conferência: Taking Stock of Complexity Economics (arquivo Taking Stock of Complexity Economics)

<http://www.youtube.com/watch?v=EysLMxRt3Dg>

## **Aula 24**

Evolução 1

*Introduction to Complexity* – Melanie Mitchel

5 Genetic Algorithms

5.1 – Introduction (4:21)

5.2 – Evolving Control Programs for Roby the Robot

Video 1 – 5:16

Video 2 – 4:14

Video 3 – 11:41

Video 4 – 8:05

Video 5 – 6:00

Ler em casa:

Beinhocker. 2007. Chapter 9 – "Evolution: It's a Jungle out There." (187-217).

Karl Sims – Evolved Virtual Creatures (arquivo Karl Sims)

[http://www.youtube.com/watch?v=JBgG\\_VSP7f8](http://www.youtube.com/watch?v=JBgG_VSP7f8)

Assistir em casa:

Daniel Dennet: Darwin's Dangerous Idea. (1:02:17)

<http://www.youtube.com/watch?v=IjphIzh8mo4>

Daneil Dennet: cute, sexy, sweet and funny – TED (7:46)

<http://www.youtube.com/watch?v=6wkR9KOh4wg>

## **Aula 25**

Evolução 2

Ler em casa:

Beinhocker. 2007. Chapter 10 – "Design Spaces: From Games to Economies." (221-239).

Assistir em casa:

**Agent Based Modeling of Complex Adaptive Systems – Igor Nikolic – TU Delft**  
10. SPM 9550 Evolution (47:41)

## **Aula 26**

Sam Bowles – A Origem de Direitos de Propriedade. Paleoeconomia e métodos computacionais.

Assistir em casa:

Kudunomics: Information and Property Rights in the Weightless Economy  
<http://cyber.law.harvard.edu/interactive/events/luncheons/2009/11/bowles>

**Aula 27 e 28**

Apresentação de grupos: Modelos em Netlogo.

**Aula 29**

Prova 3

**Aula 30**

Prova Recuperação

**Videos e textos adicionais optativos** (arquivos ‘textos’ e ‘videos’):

**Schelling: Micro Motives and Macro Behavior** – UC Berkeley

Conference in honor of Thomas Schelling (1:28:10)

<http://www.youtube.com/watch?v=EbN596buqKo>

**Taking Stock of Complexity Economics 2012** – Institute for New Economic Thinking

1 of 5 – Doyné Farmer (24:55)

<http://www.youtube.com/watch?v=qkZ8-4SfJg4>

**Boho Interactive – TED<sup>X</sup> Canberra** (18:06)

<http://www.youtube.com/watch?v=bN2N7gqAax0>

**Eric Berlow – Simplifying Complexity – TED talks** (5:43)

<http://www.youtube.com/watch?v=UB2iYzKeej8>

Phelan, Steven. 2001. What is Complexity Science Really? *Emergence*, 3(1): 120-36.

Mokyr, Joel. 2001. Useful Knowledge as an Evolving System: the view from Economic history.

Helbing and Kirman. 2012. Rethinking Economics Using Complexity Theory. Tait and Richardson. 2011. Moving Forward with Complexity. Proceedings of the 1st International Workshop on Complex Systems Thinking and Real World Applications.

Helbing and Kirman. 2012. Rethinking Economics Using Complexity Theory.

Newell, C. 2008. The class as a learning entity (complex adaptive system): An idea from complexity science and educational research. *SFU Educational Review*. No.1: 5-17.

Simon Levin, Tasos Xepapadeas, AnneSophie Crépin, Jon Norberg, Aart de Zeeuw, Carl Folke, Terry Hughes, Kenneth Arrow, Scott Barrett, Gretchen Daily, Paul Ehrlich, Nils Kautsky, KarlGöran Mäler, Steve Polasky, Max Troell, Jeffrey R. Vincent and Brian Walker. 2012. “

Socialecological systems as complex adaptive systems: modeling and policy implications,” *Environment and Development Economics*, Volume 18, Issue 02, April 2013, pp 111-132.

[http://journals.cambridge.org/abstract\\_S1355770X12000460](http://journals.cambridge.org/abstract_S1355770X12000460)

Katz, Daniel and Michael Bommarito II. Syllabus: Law as a Complex Adaptive System?