

física de sistemas complejos

según **Joaquín Marro**

**¿cómo son nuestras observaciones?
¿por qué hay cooperación en la naturaleza?
¿qué es ser complejo, irreversible y no-lineal?
¿cómo distinguir Ciencia de otras cosas?
y temas colaterales**

1. La introducción

Niveles de descripción

<http://scaleofuniverse.com/>

Universo = {galaxias}

galaxias colisionan entre sí, se fusionan en cuásares,
sufren mareas,... → propiedades globales

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios en la web de la asignatura:

Por ejemplo:

Otras simulaciones:

- www.efluids.com 
- ctr.stanford.edu 

Simulaciones sencillas (posibles ejercicios):

- www.myphysicslab.com 

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

- ✘ Modelo Per Bak & Kim Sneppen en "Punctuated equilibrium and criticality in a simple model of evolution", *PRL* **71**, 4083 (1993)
- ✘ Menos técnico y otros detalles: Per Bak, *How Nature Works*, Springer, Nueva York 1996.
- ✘ Simulaciones sobre modelo de Bak-Sneppen: www.jmu.edu.
- ✘ gráfico saltos evolución: Rohde & Müller, *Nature* **434**, 208 (2005); datos de J. Sepkoski, *Bull. Am. Paleontology* **363** (2002).
- ✘ Hipótesis equilibrio discontinuo: 1972 por Eldredge & Gould; más accesible: "Is a new and general theory of evolution emerging?", S. J. Gould, *Paleobiology* **6**, 119 (1980); xtec.es y pespmc1.vub.ac.be.
- ✘ No defendemos esa hipótesis, sino que ilustramos un método.
Otras hipótesis evolución (aunque tema no interesa en este curso):
en.wikipedia.org, www.ucmp.berkeley.edu, www.nmnh.si.edu,
www.enchantedlearning.com y www.uky.edu

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios en la web de la asignatura:

Sobre irreversibilidad y aparente contradicción entre descripciones microscópica y macroscópica, Joel L. Lebowitz divulga ideas de Boltzmann en:

- [“Boltzmann’s Entropy and Time’s Arrow”](#), *Physics Today* **46**, Septiembre 1993, y cartas provocadas por este artículo en [Physics Today 47, Noviembre 1994](#).
- “Microscopic Reversibility and Macroscopic Behavior”, en *25 Years of Non-Equilibrium Statistical Mechanics*, editors J. Brey, J. Marro, M. Rubi and M. San Miguel, *Lecture Notes in Physics* **445**, Springer-Verlag, Berlin 1995.
- “Microscopic Origins of Irreversible Macroscopic Behavior”, *Physica A* **263**, 516-527 (1999)

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

De otros autores, sobre irreversibilidad:

- Penrose, *The Emperors's New Mind*, el capítulo 7 contiene una clara descripción de aspectos relacionados con la entropía y la segunda ley de la termodinámica.
- Jean Bricmont, “Science of Chaos or Chaos in Science?”, en “The Flight from Science and Reason”, *Annals of the New York Academy of Sciences* **775**, editado por P.R. Gross, N. Levitt y M.W. Lewis, NY Academy of Sciences, NY 1996.

Este artículo apareció en *Physicalia Magazine* **17**, 159 (1995) y es accesible en dogma.free.fr, donde siguen cartas entre Bricmont y el premio Nobel de química Ilya Prigogine (1917-2003).

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios en la web de la asignatura:

- Entender irreversibilidad y orden a partir “entropía”:
Gallavotti & Cohen “Dynamical ensembles in nonequilibrium statistical mechanics”, *PRL* **74**, 2694 (1995).
- Otros caminos:
Schneider & Sagan, *Into the Cool*, University of Chicago Press 2005.
Goldenfeld & Kadanoff, *Science* **284**, 87 (1999).
- Pattern Formation*, Rebecca Hoyle, Cambridge University Press 2006.
- Cambios de fase en sistemas complejos:
Marro & Dickman, *Nonequilibrium Phase Transition in Lattice Models*, Cambridge University Press 2005
- Avances y dificultades para explicar orden natural, “Modeling physics of storm surges”, Resio & Westerink, *Physics Today*, Sept. 2008, p. 33.

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios en la web de la asignatura:

- El interesante “asunto Sokal” (la ciencia no es subjetiva) está muy bien documentado, por el propio Alan D. Sokal, en www.physics.nyu.edu.
- Recomendamos el libro *Imposturas intelectuales*, por Alan Sokal y Jean Bricmont, Paidós, Barcelona 1999.

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios en la web de la asignatura:

Murray Peshkin discute relación ciencia/religión y tercia [debate](#) EE UU sobre enseñanza evolución: [Physics Today, Julio 2006, pág. 46.](#)

Otros aspectos de ese tema han sido discutidos en los libros:

- ***Breaking the Spell: Religion as a Natural Phenomenon***, por Daniel C. Dennett, Viking Penguin, Nueva York 2006,
- ***Antonio Fernández-Rañada, Los científicos y Dios***, Nobel, Oviedo 1994,
- ***The Varieties of Scientific Experience: A Personal View of the Search for God***, por Carl Sagan y Ann Druyan, Penguin 2006

Puede verse también comentario acerca del libro [The book of nature](#) en el número de diciembre 2006 de la revista Physics Today.

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios en la web de la asignatura:

Sobre efectos de los campos electromagnéticos:

- ✘ Organización Mundial de la Salud, www.who.int
- ✘ Comisión Europea, www.mityc.es y europa.eu
- ✘ Sociedad Am. Físicos en Medicina, www.aapm.org

Hay informes en Internet que son ejemplo de falsedades manifiestas o propuestas sin fundamento científico alguno

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios en la web de la asignatura:

Sobre cómo descubrir falsa ciencia:

- ❑ **Voodoo Science: The Road from Foolishness to Fraud**, Robert L. Park, Oxford Univ. Press, NY 2002 (Traducción de 1ª ed.: *Ciencia o vudú: De la ingenuidad al fraude científico*, Gijalbo Mondadori, Barcelona 2001)
- ❑ Alan Sokal's **Beyond the Hoax: Science, Philosophy and Culture**, Oxford Univ. Press, 2008, y [What is science and why should we care?](#)
- ❑ Fred Kuttner y Bruce Rosenblum, "Teaching physics mysteries versus pseudoscience", en [Physics Today, Noviembre 2006, página 14](#), sobre uso abusivo de física cuántica y la responsabilidad del físico en ello.
- ❑ www.chem1.com.

Menos preocupante:

- Se aceptan (ej. en algunos libros) como verdaderas leyendas que son falsas o discutibles; ejemplos en physicsweb.org y physicsweb.org2.
- Mal uso de ciencia en el cine. "[Insultingly Stupid Movie Physics](#)".

... sobre autómatas celulares, para así introducirnos en el mundo de la modelización de sistemas naturales, y luego en el de los modelos reticulares (mezclas, Ising, Heisenberg, votaciones y contactos, Toom, DLG,...) que son hoy herramientas básicas en los estudios que interesan en esta asignatura

Física de Sistemas Complejos

2. Los autómatas

según Joaquín Marro

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

Descripción autómatas celulares y sus muchísimas aplicaciones:

- Bastien Chopard y Michel Droz, ***Cellular Automata Modeling of Physical Systems***, Cambridge Univ. Press 1998,
- Stephen Wolfram, ***A New Kind of Science***, Wolfram Media, Champaign Il. 2002.

Éste accesible *on-line*: www.wolframscience.com.

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

Véase

- ddi.cs.uni-potsdam.de,
- es.wikipedia.org
- www.radicaleye.com
- etc.

Léase

- Karl Sigmund, *Games of Life - Explorations in Ecology, Evolution and Behaviour*, Penguin Books 1995
- Christopher Langton, *Artificial Life: An Overview*, The MIT Press, Cambridge MA 1997.

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

Sobre copos de nieve y formas similares:

- “Snow and ice crystals”, por Yoshinori Furukawa y John S. Weltlaufer, en [Physics Today, número de Diciembre 2007, página 70](#) y
- un comentario original del filósofo [René Descartes](#) sobre el asunto.

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

- “Lattice-Gas Automata for the Navier-Stokes Equation”, U. Frisch, B. Hasslacher & Y. Pomeau, *Physical Review Letters* **56**, 1505 (1986)
- “Lattice Gases Illustrate the Power of Cellular Automata in Physics”, Bruce M. Boghosian, *Computers in Physics*, noviembre/diciembre 1991, página 585. Divulgación del modelo y extensiones, y cómo simular su comportamiento de modo eficaz en un ordenador.
- Ver [Cellular Automata and Lattice Boltzmann Techniques](#)
- Palabras clave: **Lattice Gas, Cellular Automata, Lattice Boltzmann**; hay abundante información y muchas aplicaciones on line:

Por ejemplo, seguir a [Sauro Succi](#) que describe los fundamentos de la técnica y cómo abordar problemas hidrodinámicos con métodos basados en el uso de autómatas en el ordenador (<http://tocs.ulb.tu-darmstadt.de/198855435.pdf>).

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

Descripción detallada del modelo de mezcla y consecuencias:

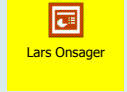
- “Dinámica de transiciones de fase”, por Joaquín Marro, *Serie Universitaria*, volumen 127, Fundación Juan March, Madrid 1980.
- Marro & Dickman, *Nonequilibrium Phase Transitions...*, Cambridge University Press 2005 y 2009 (paperback)

Una variante del modelo, que considera mejoras como nodos vacantes, tensiones elásticas y deformaciones del retículo:

- “Using Kinetic Monte Carlo Simulations to Study Phase Separation in Alloys”, por Weinkamer, Fratzl, Gupta, Penrose y Lebowitz, en *Phase Transitions* **77**, 433 (2004).

otros modelos interesantes con solución exacta

• El método matricial fue generalizado por Onsager –con gran ingenio– para $d=2$, $\mathcal{H}=0$, vp's. Sugiero estudiar esta solución, por ejemplo en:



- C.J. Thompson, *Mathematical Statistical Mechanics*, Princeton Univ. Press, 1970
- C. Itzykson & J.M. Drouffe, *Statistical Field Theory*, vol. 1, Cambridge Monographs on Mathematical Physics, 1990
- C.J. Thompson, “Algebraic Derivation of the Partition Function of a Two-D Ising Model”, *Journal of Mathematical Physics* **6**, 1392-1395 (1965)
- T.D. Schultz, D.C. Mattis & E.H. Lieb, “Two-dimensional Ising Model as a Soluble Problem of Many Fermions”, *Review of Modern Physics* **36**, 856-871 (1964)
- T.T. Wu, “Theory of Toeplitz Determinants and the Spin Correlations of the Two-dimensional Ising Model, I”, *Physical Review* **149**, 380-401 (1966)
- McKoy & Wu, *The Two-dimensional Ising Model*, Harvard Univ. Press 1973.
- L.P. Kadanoff, “Spin-spin Correlations in the Two-dimensional Ising Model”, *Nuovo Cimento* **XLIVB**, 276-304 (1966)
- R.P. Feynman, *Statistical Mechanics*, Benjamin (1981), p.127.
- etc.

- Interacción coulombiana en $d=1$

- A. Lenard, “Exact Statistical Mechanics of a One-dimensional System with Coulomb Forces”, *J. Math. Phys.* **2**, 682 (1961)

Reimpresiones de éste y de otros de los trabajos citados en esta sección en *Mathematical Physics in One Dimension*, E.H. Lieb & D.C. Mattis, Academic Press, New York 1966.

Se trata de un sistema de planos infinitos cargados moviéndose perpendicular a su dirección. Muy bien explicado. También interesante por introducir colectividad a presión cte., y usar grafos para calcular la FP y fracciones continuas.

- K.D. Scholte & T.T. Truong, “Phase Transition of a One-dimensional Coulomb System”, *Phys. Rev. A* **22**, 2183 (1980)

Planos infinitos cargados en un circuito alternando cargas. Usa colectividad MC, introduce un interesante truco. Muestra \exists de cambio de fase de 2º orden, lo que es excepción del T. de van Hove –debida a las interacciones de largo alcance.

- R.J. Baxter, “Statistical Mechanics of a One-dimensional Coulomb System with a Uniform Charge Background”, *Proc. Camb. Phil. Soc.* **69**, 779 (1963)

Similar al caso de Lenard. Al incluir sustrato de carga opuesta, es modelo de plasma. Claridad y belleza de la exposición.

- Vidrios de espines unidimensionales

Sistema Ising con valores J_{ij} al azar de acuerdo con una distribución que genera competencia ferro-antiferro. Motivado por aleaciones magnéticas diluidas. Es muy interesante el uso de la teoría de réplicas. Recomendado.

- J. Joffrin, “Disordered Systems –Experimental Viewpoint”, *Ill-condensed Matter, Les Houches 1978*, p. 63, North-Holland.
- S. Kirkpatrick *et al*, “Infinite-ranged Models of Spin-glasses”, *Phys. Rev. B* **13**, 4384 (1978)
- D.C. Mattis, “Solvable Spin Systems with Random Interactions”, *Physics Letters A* **56**, 421 (1976)
- P.W. Anderson, “Lectures on Amorphous Systems”, *Ill-condensed Matter, Les Houches 1978*, p. 159, North-Holland.

- Redes de neuronas

caso en que todas las neuronas actúan sobre una dada: puede resolverse por completo con técnica de réplicas; interesa estudio estabilidad

- D.J. Amit, H. Gutfreund & H. Sompolinsky, “Spin Glass Models of Neural Networks”, *Phys. Rev. A* **32**, 1007 (1985)
- J.L. van Hemmen, “SG Models of a NN”, *Phys. Rev. A* **34**, 3435 (1986)

- Ising con energía de intercambio aleatoria

No es un vidrio de espines pues no hay competencia ferro-antiferro. Interesante. Uno de mis artículos con Labarta. Tiene solución en $d=1$ para N finito. Ecuaciones integrales.

- C. Fau & B. McCoy, “One-dimensional Ising Model with Random Exchange Energy”, *Phys. Rev.* 182, 614 (1969)
- McKoy & Wu, *The Two-D Ising Model*, Harvard Univ. Press 1973, p. 345.

- Ising diluido

dos versiones: (1) *site dilution* –el espín es cero en una fracción p de nudos elegida al azar– y (2) *bond dilution* –la interacción J entre parejas de espines es nula para una fracción de éstas elegida al azar. Modelan impurezas en sistemas reales y resulta especialmente importante la dependencia de las propiedades críticas con dimensión y dilución.

- Stinchcombe, en *Phase Transitions and Critical Phenomena*, vol. 7, Academic Press (1983)
- Dotsenko & Dotsenko, *Advances in Physics* **32**, 129 (1983)
- Labarta, Marro & Tejada, *J. Phys. C* **19** (1986), y otros papers míos

- Gas de Takahashi

Ilustra el teorema de van Hove (potenciales de corto alcance no inducen cambio de fase). Es un gas reticular con $\phi(r) = \psi(r-a)$ a medias distancias (si $2a > |r| > a$), mientras que $\phi(r) = \infty, 0$ para $|r| < a$ y $|r| \geq 2a$, respec.

- Lieb & Mattis, eds., *Mathematical Physics in One Dimension*, Academic Press, New York 1966, p.6
- Thompson, *Mathematical Statistical Mechanics*, citado, p.81

- Modelo esférico de gas

Sistema dividido en celdas, cada una con 1 ó 0 partículas; entre celdas hay un potencial de interacción. Su solución ilustra física interesante.

- Lieb & Mattis eds., *Mathematical Physics in One Dimension*, p. 81

- Modelo X-Y

Se trata del hamiltoniano $H = -\sum_{ij} J_{ij} (s_i^x s_j^x + s_i^y s_j^y)$ en el que $s^x s^y$ no conmutan. Si parámetro de orden es $m = \sum_i s_i^x$, no conmuta con $H \Rightarrow$ estado fundamental no es con todos los espines alineados

- D.D. Betts, in *Phase Transitions and Critical Phenomena*, Domb & Green, eds., vol. 6, p. 569

casos interesantes que vemos explícitamente

- Teorema de Lebowitz & Penrose

Solución exacta en el límite termodinámico para potencial tipo Kac (alcance infinito pero infinitamente débil)

- Thompson, *Mathematical Statistical Mechanics*, p.218

- Modelo de Ising cinético

La cadena unidimensional tiene solución exacta. Ecuación maestra; probabilidades de transición. Dinámica para solución campo medio. *Retardamiento crítico*. Muy interesante como base para otros casos.

- R.J. Glauber, “Time Dependent Statistics of the Ising Model”, *Journal of Mathematical Physics* **4**, 294 (1963)
- Stanley, *Introduction to Phase Transitions and Critical Phenomena*, p. 284
- S.P. Heins, “Master Equation for Ising Models”, *Phys. Rev. A* **138**, 587 (1965)
- B. Felderhof, “Spin Relaxation of the Ising Chain”, *Reports on Mathematical Physics* **1**, 215 (1971)

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

Qué quiere decir aleatorio:

polymer.bu.edu/java/java/winning/WinningStreak.html

Series naturales de números aleatorios, en

www.fourmilab.ch y www.random.org.

Ilustración de los generadores de series pseudo-aleatorias, en

www.math.utah.edu y en.wikipedia.org.

Un generador ilustrativo, en

www.psychicscience.org

A veces interesan distribución no-uniforme, ej., gaussiana:

www.fortran.com

Dos tipos importantes de generadores, en

[congruential](#) y [shift-register](#)

Jugando con el azar

Cálculo integral definida difícil $y = f(x)$:

math.fullerton.edu/mathews/n2003/MonteCarloMod.html

math.fullerton.edu/mathews/n2003/montecarlo/MonteCarloBib/Links/MonteCarloBib_Ink_1.html

(esta referencia no aparece en la web de la asignatura)

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

- ❑ La wikipedia alemana tiene info interesante acerca del modelo de Nagel y Schreckenberg; para su extensión buscar “transportation forecasting model”
- ❑ Otra simulaciones de tráfico, en vwisb7.vkw.tu-dresden.de
- ❑ Referencia obligada con abundante información fenomenológica, es el libro *The Physics of Traffic* de Boris S. Kerner (Springer, Berlin 2005).
- ❑ Ver [Statistical Physics of vehicular traffic and some related systems](#)



Banco, unos 10 m de diámetro, de jureles negros, en el Océano Atlántico, muy correlacionados para evitar a sus depredadores

Vídeo banco peces: <http://www.youtube.com/watch?v=cIgHEhziUxU>

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

- ❑ Ver muchas referencias en la wikipedia en inglés, “herd behavior”
- ❑ Simulaciones y animaciones de movimientos colectivos: www.red3d.com y www.lalena.com
- ❑ Termitas y colonias de hormigas: www.permutationcity.co.uk y iridia.ulb.ac.be.
- ❑ Movimiento de bandadas y posibles aplicaciones: [*Physics Today*, Octubre 2007](#).
- ❑ Es fácil encontrar vídeos mostrando bandadas de aves en vuelo; por ejemplo: http://es.youtube.com/watch?v=bf3dKxof_9w
- ❑ Modelo de fuerzas entre organismos simples: “[Phase transition in the collective migration of tissue cells](#)” de B. Szabó y otros
- ❑ Buscar dinámica de corrientes de opinión entre humanos
- ❑ Observaciones en el lab y vídeos de simulaciones en angel.elte.hu).

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

Sobre realizaciones de autómatas capaces de auto-reproducirse:

- “An implementation of von Neumann’s self-reproducing machine”, *Artificial Life* **2**, 337 (1995), de Umberto Pesavento
- “Self-replicating loop with universal construction”, de Daniel Mange y colaboradores, en *Physica D* **191**, 178 (2004)
- “Self-reproducing machines”, *Nature* **435**, 163 (2005).

Un autómata DNA que muestra evolución:

- Tim J. Hutton, “Evolvable self-replicating molecules in an artificial chemistry”, *Artificial Life* **8**, 341 (2002).

La primera popularización de estas ideas de von Neumann:

- “Man viewed as a machine”, J.G. Kemeny, *Scientific Am.* **192**, 58 (1955)

Rápida, suficientemente detallada, historia, en en.wikipedia.org

Trabajos de Turing recopilados en www.AlanTuring.net.

La interesante vida de Turing, novelada, con la de Kurt Gödel, en:

- *A Madman Dreams of Turing Machines*, Knopf 2006, por [Janna Levin](#).

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

- El concepto de algoritmo genético fue introducido explícitamente por John Holland (1929); puede verse su libro ***Adaptation in natural and artificial systems***, MIT Press Cambridge, MA 1992.
- Descripciones útiles del procedimiento, *tutorials* y enumeración de sus aplicaciones pueden verse en
 - en.wikipedia.org.
 - lancet.mit.edu/~mbwall/presentations/IntroToGAs/
 - www.ai-junkie.com/ga/intro/gat1.html

... sobre ese tipo de orden matemático que llamamos caos, hasta llegar a descubrir sus propiedades e implicaciones y la incidencia que el concepto tiene en los fenómenos naturales, y aprender a distinguirlo de “ruidos” y fenomenologías parecidas

Física de Sistemas Complejos

3. El caos

según Joaquín Marro

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios en la web de la asignatura:

- El problema de los tres cuerpos se describe en <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/celeste/euler/euler.htm>
- El Sistema Solar se describe en http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/celeste/solar/sistema_solar.htm y la Soc. Astronómica Granadina da enlaces relacionados en www.astrogranada.org
- Las leyes de Kepler se ilustran en <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/celeste/kepler/kepler.htm>. Puede también verse www.phy6.org.
- Libro interesante, avanzado: ***The Three-Body Problem***, Mauti Valtonen y Hannu Karttunen, Cambridge Univ. Press 2006.

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios en la web de la asignatura:

- ***The Essence of Chaos***, University of Washington Press, Washington 1993, de Edward Lorenz contiene interesante y detallada descripción de la historia del descubrimiento del caos.
- Reflexiones al respecto de Jean Bricmont en “Science of Chaos or Chaos in Science?”, accesible en arxiv.org/pdf/chao-dyn/9603009.pdf
- Para el fenómeno de convección térmica, además de es.wikipedia.org, puede visitarse theory.uwinnipeg.ca y hyperphysics.phy-astr.gsu.edu.
- Véase centros5.pntic.mec.es con muy sencilla ilustración de caos.
- No dejar de ver en dspace.library.cornell.edu/handle/1813/97 un vídeo de Steven Strogatz con experiencias de laboratorio ilustrando caos natural

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios en la web de la asignatura:

- Interesante y práctico: [Chaos - A Program Collection for the PC](#), por Hans J. Korsch y H. J. Jodl, Springer, Berlin 1999.
- Un estudio del caos requiere profundizar en cuestiones matemáticas relacionadas con los sistemas dinámicos no-lineales y las teorías de estabilidad y bifurcaciones. Puede verse, como complemento en este sentido, el libro de H.G. Solari, M.A. Natiello y G.B. Mindlin, ***Nonlinear Dynamics, A Two Way Trip from Physics to Math***, Institute of Physics Pub., Bristol 1996.
- Para una descripción más fenomenológica: P.S. Addison, ***Fractals and Chaos: An Illustrated Course***, Institute of Physics Pub., Bristol 1997.
- También recomendamos: James Gleick, ***Chaos***, Viking, NY 1989.

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios en la web de la asignatura:

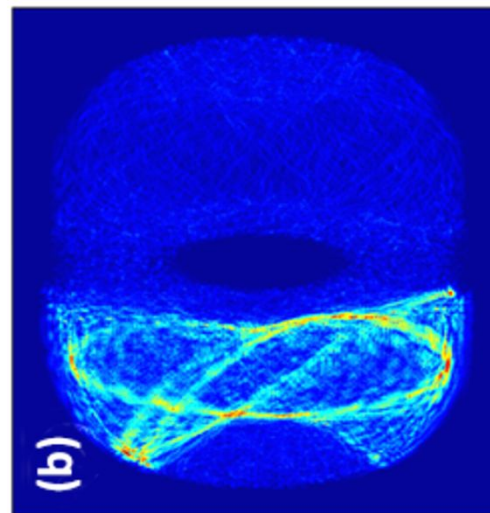
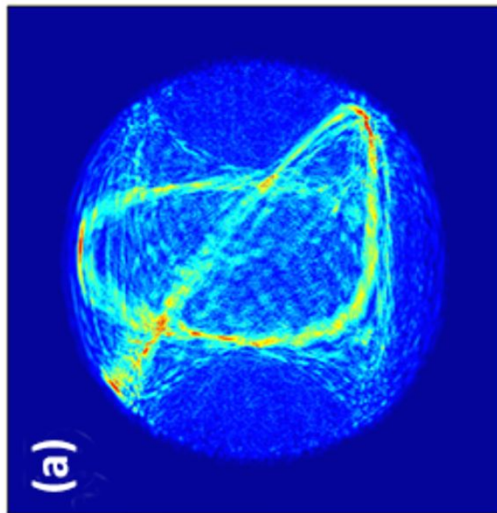
- Visualizar atractores en www.geocities.com y rastrear en ese mundo a partir de en.wikipedia.org.
- Cursos cortos sobre el tema en matap.dmae.upm.es, brain.cc.kogakuin.ac.jp, www.aw-bc.com, staff.science.nus.edu.sg..
- Robert May ha resaltado en “Simple Mathematical Models with very Complicated Dynamics”, *Nature* **261**, 459 (1976) la importancia pedagógica estudiar física no-lineal para compensar la intuición lineal, inapropiada muchas veces, de la educación tradicional.
- Tratamiento sencillo del caos y de su relación con fractales: ***Nonlinear Physics for Beginners***, por Lui Lam, World Scientific, Singapore 1998, que contiene una introducción, copia de varios trabajos originales, y numerosos ejemplos prácticos, incluso programas de ordenador.
- Simula el comportamiento del péndulo caótico: www.physics.orst.edu.

Caos cuántico

Los sistemas cuánticos no tienen órbitas bien definidas en el espacio de las fases, debido al principio de incertidumbre. Uno se pregunta si existe este tipo de comportamiento en sistemas cuánticos y, si es así, cómo se manifiesta. Estas cuestiones pueden verse analizadas en M.C. Gutzwiller, 'Quantum Chaos', *Scientific American* **266**(1), 78-84 (1992), en Lam p.132.

Material en `fnl03caos.pdf` y `FNL03caos.tex`, ambos en `jm/clases/FisNoLineal/FNL Old & Useful`

However, recent news: Spin-orbit-coupled cold atomic gases are proposed as model system for observing the signatures of quantum chaos, J. Larson et al. Phys. Rev.A 87, 013624 (2013)



a, Real-space & b, momentum density distributions for a spin-orbit-coupled boson gas in chaotic regime. Such wave function distributions are calculated for a system that has thermalized after an initial perturbation brought it to an excited state.

High-density regions are “quantum scars,” signatures of chaos remnants of classic periodic orbits.

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios en la web de la asignatura:

- www.textoscientificos.com: uso de mapa caótico en criptografía.
- Sobre relación entre caos y salud:

Francis X. Witkowski, K.M. Kavanagh, P.A. Penkoske y R Plonsey, “[Evidence for determinism in ventricular fibrillation](#)“, *Physical Review Letters* **75**, 1230 (1995);

Vincenzo Barbaro y otros, en “Deterministic patterns and coupling of bipolar recordings from the right atrium”, publicado en *Ann. Ist. Super. Sanità* **37**, 371 (2001);

Timo H Mäkikallio y otros, en “Differences in the activation patterns between sustained and self-terminating episodes of human ventricular fibrillation”, *Annals of Medicine* **34**, 130 (2002);

Timothy G. Buchman en “Nonlinear dynamics, complex systems, and the pathobiology of critical illness”, publicado en *Current Opinion in Critical Care* **10**, 378 (2004); y

Michael W. Deem, en “Mathematical adventures in biology”, publicado en *Physics Today*, Enero 2007, página 42.

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios en la web de la asignatura:

- Es relevante una discusión de Alain Karma y Robert F. Gilmour Jr., en “Nonlinear dynamics of heart rhythm disorders”, [Physics Today, Marzo 2007, página 51](#), sobre señales de caos en electrocardiogramas.
- Historia del electrocardiograma: www.ecglibrary.com, y muchos ejemplos y explicaciones [aquí](#) y referencia a un libro sobre el asunto [aquí](#).
- Recomendamos “Synchronization and rhythmic processes in physiology”, por Leon Glass, *Nature* **410**, 277 (2001).
- A veces se habla (véase, por ejemplo, el comentario [Controlling Cardiac Chaos - Physics News Update 840](#)) de esfuerzos por evitar el comportamiento caótico en los ritmos cardíacos, que actualmente se consideran importantes para un comportamiento saludable. Sin embargo, se trata del uso coloquial, no técnico, del término “caos” en un contexto científico.

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios en la web de la asignatura:

- Programa para determinar la existencia de determinismo en series aleatorias, en sprott.physics.wisc.edu.
- Los ruidos de colores se describen (y pueden oírse) en en.wikipedia.org.
- Generación de ruido con el método Monte Carlo, en www.people.nnov.ru.
- Ejemplo concepto de ruido en el estudio del cambio climático, y de la prevención con que deben de tomarse las predicciones basadas en los análisis estadísticos en este campo, en
“Black noise and population persistence”, por Kim M. Cuddington y Peter Yodzis, publicado en *Proceedings of the Royal Society of London* **B 266**, 969 (1999) y
“The physics of climate modeling”, por Gavin A. Schmidt, en [*Physics Today*, página 72, enero 2007](#).

Física de Sistemas Complejos

según Joaquín Marro

Sobre la naturaleza más íntima de un cambio de fase, para tratar los conceptos de correlación, orden y clases de universalidad y su reflejo en el ejemplo de la *percolación*, y sobre fluctuaciones, auto-organización, homogeneidad y renormalización y sus aplicaciones

3. Criticalidad

Una clara demostración del
fenómeno de opalescencia crítica.

<http://www.physicsofmatter.com/NotTheBook/CriticalOpal/OpalFrame.html>

Discusión y ejercicios

- Diagramas de fase para el agua y CO₂: www.chemicallogic.com
- Discusión de los cambios de fase en www.chemguide.co.uk
- Experimento mostrando opalescencia crítica: www.physicsofmatter.com, y experimentos similares en ciencia.nasa.gov y en www.cienciahoy.org.ar
- Fenómeno semejante a la opalescencia crítica hace que predominen ciertas λ en la luz que, proveniente del Sol, es dispersada por la atmósfera —lo que origina el color azul característico del cielo en condiciones normales, rojizo en atardeceres, y tono amarillento del disco solar.

Explicación sencilla del color del cielo: enebro.pntic.mec.es.

Discusión y ejercicios

- La mejor introducción a la teoría de cambios de fase y fenómenos críticos: *Introduction to Phase Transitions and Critical Phenomena* de H. Eugene Stanley, Clarendon Press (fuera de catálogo)
- Modelo de Ising: “Microscopic observations on a kinetic ising model”, R. Toral y J. Marro, en *American Journal of Physics* **54**, 1114 (1986).
- *Introduction to Percolation Theory* de Dietrich Stauffer y Amnon Aharony (Taylor and Francis, Londres 1994)
- Percolación: www.physics.buffalo.edu, pages.physics.cornell.edu, www.krl.caltech.edu y www.people.nnov.ru (también incluye cambios de fase magnéticos), y la paradoja de Fermi (¿por qué no nos han colonizado?) en www.sff.net o en la publicación de T. Kuiper y G.D. Brin en *American Journal of Physics* **57**, 13 (1989).
- Fuegos forestales: polymer.bu.edu y www.sciencedaily.com.

**... sobre el azar y sus consecuencias, incluyendo
probabilidades normales y “raras”,
movimiento browniano,
ecuación de Langevin y sus aplicaciones,
fenómenos de difusión, y cosas relacionadas**

Física de Sistemas Complejos

5. El azar

según Joaquín Marro

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

Este capítulo NO es una introducción a la teoría de probabilidades, de modo que conviene que lo amplíen, por ejemplo, en:

- * William Feller, *An introduction to probability theory and its applications*, dos volúmenes, Wiley, Nueva York 1968 y 1971; o
- * en línea: www.dartmouth.edu y www.mathcs.carleton.edu.

Ley grandes números: mathworld.wolfram.com y www.stat.berkeley.edu,

Teorema del límite central: video.google.es (vídeo explicativo de éste y otros conceptos en la teoría de la probabilidad)

El borracho

Pearson (1857-1936), 1^{er} ejemplo de aplicación: hace hipótesis de que difusión es relevante en transmisión de malaria, pues insectos parecen seguir un protocolo browniano (que hoy conocemos como **“paseo del borracho”**):

Imaginad persona sin memoria caminando sin objetivo definido, de modo que cada uno de sus pasos tiene una dirección cualquiera sin correlación alguna con el anterior

Por sencillez, supongamos que ocurre en una línea, y que el borracho, en cada unidad de tiempo, se mueve una distancia h , con igual probabilidad en una de 2 posibles direcciones, independientemente de lo que hizo anteriormente:

1D RW: <http://polymer.bu.edu/java/java/1drw/1drwapplet.html>

2D RW: <http://polymer.bu.edu/java/java/2drw/2drwapplet.html>

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

Importancia mundo mesoscópico (entre átomos y bolas de billar) para comprender la naturaleza, resaltado por Mark Haw en *Middle World: The Restless Heart of Matter and Life*, Palgrave Macmillan 2006 (physicsweb.org)

Historia mov. browniano y descripción teorías relevantes: el libro *Dynamical theories of brownian motion* de E. Nelson en www.math.princeton.edu

Experimento numérico interactivo sobre cómo varía la difusión con el tiempo, en polymer.bu.edu (movimiento en una línea) y polymer.bu.edu (en un plano)

Simulaciones interactivas difusión: galileo.phys.virginia.edu y polymer.bu.edu; cuidadoso experimento movimiento browniano al microscopio: nanotubes.epfl.ch. Véase también: www.rmcairn.com.

- Repetición experimento de Perrin, en “Einstein, Perrin, and the reality of atoms: 1905 revisited”, por Ronald Newburgh, Joseph Peidle y Wolfgang Rueckner, en *American Journal of Physics* **74**, 478 (2006).

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 


Difusión anómala:

- * chaos.utexas.edu (con algunos experimentos numéricos)
- * “Anomalous difusión spreads its wings” de Joseph Klafter e Igor M. Sokolov, *Physics World*, página 29, Agosto 2005
- * “The random walks guide to anomalous difusión”, de Ralf Metzler y Joseph Klafter, en *Physics Reports* **339**, 1 (2000)
- * “Diffusion on a solid surface” de José M. Sancho y otros, *Physical Review Letters* **92**, 250601 (2004)
- * “Optimal search strategies for hidden targets” de Olivier Bénichou y otros, *Physical Review Letters* **94**, 198101 (2005)
- * “The scaling laws of human travel”, Dirk Brockmann *et al.*, *Nature* **439**, 462 (2006).

La difusión anómala en aves se descubrió en

- * “Lévy flight search patterns of wandering albatrosses”, por G.M. Viswanathan y otros en *Nature* **381**, 413 (1996)
- * una propiedad semejante en chacales: “Scale-free dynamics in the movement patterns of jackals”, por R.P.D. Atkinson y otros en *Oikos* **98**, 134 (2002)

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

- * Discusión cuidadosa de leyes potenciales y sus propiedades:

“A brief history of generative models for power law and lognormal distributions”, por Michael Mitzenmacher, publicado en *Internet Mathematics* **1**, 226 (2003), y

“Power laws, Pareto distributions and Zipf’s law”, por Mark E. J. Newman, publicado en *Contemporary Physics* **46**, 323 (2005).

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

Una simulación interactiva de la DLA, en polymer.bu.edu.

Para un tratamiento reciente de este proceso:

“Difusión-limited aggregation: a model for pattern formation”, por Thomas C. Halsey, publicado en [*Physics Today*, Noviembre 2000, página 36](#).

Interesantes ejemplos y programas de crecimiento DLA en tres dimensiones, en mark.technolope.org y local.wasp.uwa.edu.au.

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

En “A kinetic Monte Carlo study of the growth of Si on Si(100) at varying angles of incident deposition”, por S.W. Levine, R.E. Ángstrom y P. Clancy, *Surface Science* **401**, 112 (1998), se describe una simulación de MBE de silicio sobre silicio en la que se pone en evidencia lo esencial a nivel microscópico en ese tipo de crecimiento.

Sobre aplicación reciente de teorías físicas al caso de tumores:

- * “Super-rough dynamics on tumor growth” y “Pinning of tumoral growth by enhancement of the immune Response”, Antonio Brú y otros, *Physical Review Letters* **81**, 4008 (1998) y **92**, 238101 (2004), respectivamente
- * “Tumor growth instability and the onset of invasión”, por Mario Castro, Carmen Molina-París y Thomas S. Deisboeck, *Physical Review E* **72**, 041907 (2005)
- * “Modeling the effect of deregulated proliferation and apoptosis on the growth dynamics of epithelial cell populations in Vitro”, J. Galle et al, en *Biophysical Journal* **88**, 62 (2005)
- * “Self-scaling tumor growth”, por Jürgen Schmiegel, en *Physica A* **367**, 509 (2006)
- * “Stochastic models for tumoral growth”, por Carlos Escudero, en *Physical Review E* **73**, 020902R (2006)
- * la reseña de una noticia en [Splashing out against tumours](#).

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

Interesantes descripciones de las células complejas en www.johnkyrk.com y www.umass.edu, y una simulación de la formación de polímeros mediante caminos aleatorios en polymer.bu.edu

Para los fundamentos de biología, el libro *Estructura de proteínas*, por Carlos Gómez-Moreno Calera, Javier Sancho Sanz y otros, en Ariel Ciencia, Barcelona 2003.

Tipos de caminos aleatorios auto-evitantes, en mathworld.wolfram.com

Los detalles de una simulación, en hepwww.ph.qmul.ac.uk.

... sobre la frecuente ausencia de escala en la naturaleza, y el caso de la geometría fractal, indagando cuál puede ser el origen de esta propiedad en los sistemas reales y qué interés tienen las topologías reticulares en física, y sobre métodos basados en los conceptos de homogeneidad y renormalización

Física de Sistemas Complejos

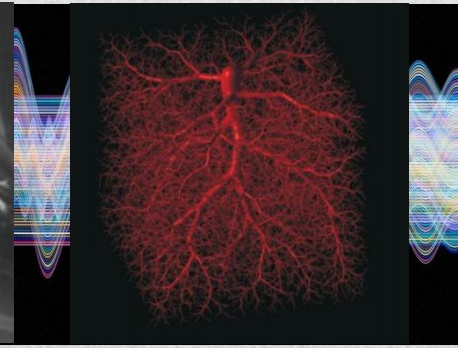
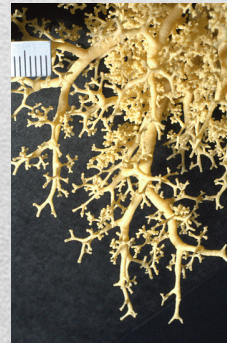
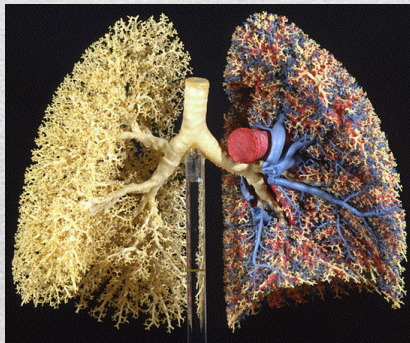
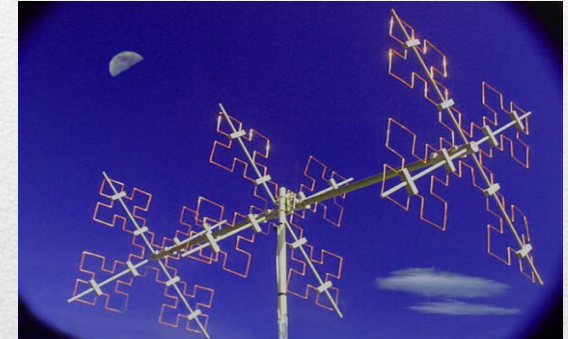
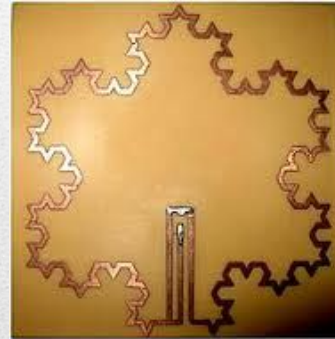
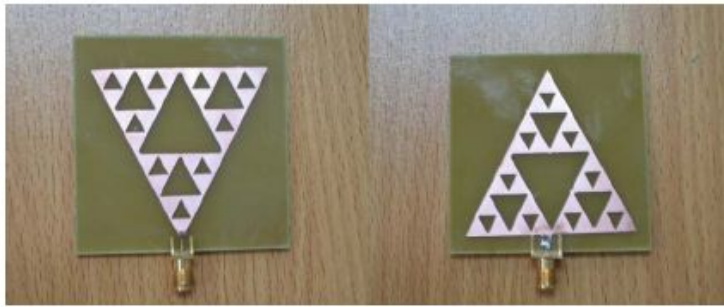
6. La escala

según Joaquín Marro

Fractalidad

Sobre cómo los fractales pueden a veces hacer más con menos, ej.: <http://physics.aps.org/articles/v5/128>

Curvas fractales son método eficaz llenar superficies [→ Sierpinski para antenas (mayor longitud hilo en mismo espacio y forma genera capacitancia e inductancia extras)] y también mejoran eficacia funcional órganos maximizando superficie en espacio reducido



Brain resonances suggesting fractality

Galería fractales naturales: <http://lightbox.time.com/2012/09/19/finding-beauty-fractal-patterns-on-earth-as-seen-from-space/#1>

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

Galerías de imágenes fractales: commons.wikimedia.org, local.wasp.uwa.edu.au y classes.yale.edu.

La junta, juntura o triángulo de Sierpinski: matap.dmae.upm.es, www.efg2.com, y en es.wikipedia.org se dan modos alternativos de construirlo

Curva del dragón, en mathworld.wolfram.com y en en.wikipedia.org

Hay un desarrollo de conceptos básicos de geometría fractal en matap.dmae.upm.es/1, matap.dmae.upm.es/2 y matap.dmae.upm.es/3

Descripción pedagógica de fractales en classes.yale.edu por el Prof. Mandelbrot y colaboradores

Un calculador de la dimensión fractal en: local.wasp.uwa.edu.au.

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

Para profundizar en las causas que puede tener el que las poblaciones se distribuyan según la ley de Zipf: eclectic.ss.uci.edu y “Hierarchy in social organization”, por S.V. Buldyrev, N.V. Doholyan, S. Erramilli, M. Hong, J.Y. Kim, G. Malescio y E. Eugene Stanley, en *Physica A* **330**, 653 (2003)

www.geohive.com contiene datos sobre naciones; publicaciones relacionadas con la ley de Zipf y asuntos relacionados, en www.nslj-genetics.org.

Discusión reciente sobre la relevancia en el idioma escrito de la distribución potencial o ley de Zipf en estos contextos: “True reason for Zipf’s law in language”, *Physica A* **358**, 545 (2005), donde se dan ejemplos y se cuestiona que sea una característica de todos los idiomas.

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

Corto comentario sobre la relación entre la forma de una distribución y la correlación entre las variables que describe, en [“Non-Gaussian distributions under scrutiny”](#), por Thierry Dauxois, en *Journal of Statistical Mechanis: Theory and Experiment* N08001 (2007), donde se dan otras referencias

Clara descripción de leyes potenciales, de evidencias y descripción de casos en los que ocurren, así como de algunas posibles justificaciones: “Power laws, Pareto distributions and Zipf’s law”, por Mark E. J. Newman, *Contemporary Physics* **46**, 323 (2005); también en [arxiv.org](#).

La metodología que se sigue para estudiar la distribución de las guerras, así como una discusión de la interpretación de los resultados: [“Estadística de los conflictos bélicos”](#) por Brian Hayes, en *Investigación y Ciencia*, Mayo 2004, página 9.

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

Descripción sencilla de los complejos procesos físicos que originan los terremotos, en “The physics of earthquakes”, por Hiroo Kanamory y Emily E. Brodsky, en *Physics Today*, Junio 2001, página 34.

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

El mecanismo que optimiza la tolerancia ha sido propuesto y discutido por

- Jean M. Carlson y John C. Doyle en “Highly Optimized Tolerance: Robustness and Design in Complex Systems”, *Physical Review Letters* **84**, 2529 (2000)
- John C. Doyle y otros, en “The ‘robust yet fragile’ nature of the Internet”, en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **102**, 14497 (2005).

Un formalismo general que explica la ubicuidad de leyes potenciales, q no hemos discutido, es la “estadística de Tsallis” que puede verse en tsallis.cat.cbpf.br y www.cscs.umich.edu.

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

Sobre posibles explicaciones de la ausencia de escala, el libro de Per Bak antes citado, y

Self-Organized Criticality: Emergent Complex Behavior in Physical and Biological Systems, Henrik J. Jensen, en Cambridge Lecture Notes in Physics 1998

“The power of design”, por Mark Newman, en *Nature* **405**, 412 (2000)

“Understanding scale invariance in a minimal model of complex relaxation phenomena”, Pablo I. Hurtado, Joaquín Marro y Pedro L. Garrido, en *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment* **02**, P02004 (2006)

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

El funcionamiento del autómatata de la pila de arena se ilustra en www.cmth.bnl.gov.

La posible aplicación de la idea de organización autónoma en contextos diversos se describe en en.wikipedia.org y en los enlaces que contiene esta página.

El modelo Burridge-Knopoff para el origen de terremotos se describe www.fisfun.uned.es, mathworld.wolfram.com y lec.ugr.es.

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

La relación entre fama y mérito ha sido desarrollada por

James P. Bagrow y Daniel ben-Avraham en “On the *Google*-fame of scientists and other populations”, publicado en el libro *Modeling Cooperative Behavior in the Social Sciences*, editado por Pedro Garrido, Joaquín Marro y Miguel A. Muñoz en American Institute of Physics, Nueva York 2005.

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

El problema del viajante (relevante en tema “optimización de la tolerancia”) se trata en

- www.nada.kth.se,
- mathworld.wolfram.com y en el libro
- ***The traveling salesman problem*** de Gerhard Reinelt publicado por Springer, Berlin 1994.

Usami Yoshiyuki y otros, en “Solving the traveling-salesman problema by a statistical-physics method”, publicado en *Computers in Physics* **10**, 525 (1996), han presentado una interesante aplicación de las ideas de renormalización (en el espacio real) a la solución de este problema.

Ejercicios, referencias interesantes y comentarios

en la web de la asignatura: 

Sobre problemas de grafos de Euler: www.infovis.net

Acerca de redes:

Steven H. Strogatz, “Exploring complex networks”, *Nature* **410**, 268 (2001)

Linked: The New Science of Networks, de Albert-László Barabási, publicado por Perseus Pub., Cambridge, MA 2002

“Models of the Small World”, por Mark E.J. Newman, *Journal of Statistical Physics* **101**, 713 (2000)

información y otros enlaces, en pages.physics.cornell.edu.

Ricardo Baeza-Yates, Carlos Castillo y Vicente López han publicado “Características de la Web de España”, en *El profesional de la información* **15** (número 1), 6 (2006)

Puede ahora continuarse el tema viendo:

- The renormalization-group equations and the partition function (Balescu p.354)
- The renormalization-group equations and the partition function (Balescu p.361)

La referencia para este tema es Balescu (copiado en ...FiSiCo/renormal), y la web

<http://www.tcm.phy.cam.ac.uk/~bds10/phase/scaling.pdf>

- También pueden verse algunos papers interesante relacionados en: <C:\Users\jmarro\jm\clases\viejo\FisEst\FEWeb\reviews\reviews.html>



7. Biofísica y Sociología, Econofísica, etc

(una breve introducción)



Discusión y ejercicios

Algunas descripciones recientes de problemas en la frontera de la biología con la física y las matemáticas:

- * “Teaching biological physics”, por Raymond E. Goldstein, Philip C. Nelson y Thomas R. Powers, en *Physics Today*, página 46, Marzo 2005,
- * “The biological frontier of physics”, por Rob Phillips y Stephen R. Quake, en [*Physics Today*, página 38, Mayo 2006](#) y
- * “Mathematical adventures in biology”, por Michael W. Deem, en [*Physics Today*, página 42, Enero 2007](#).

Para los fenómenos de reacción-difusión puede consultarse el libro de Marro y Dickman (y su bibliografía) reseñado antes en capítulo 1.

El experimento Belousov-Zhabotinsky se explica e ilustra en

www.correodelmaestro.com
www.chem.leeds.ac.uk
online.redwoods.cc.ca.us.

www.ux.uis.no,
www.uni-regensburg.de

Discusión y ejercicios

Sobre forma y crecimiento en biología, recomendamos el libro clásico

- ✿ ***On growth and form***, D'Arcy W. Thompson, Cambridge University Press 1992 (un clásico; primera edición en 1917)
- ✿ www.turing.org.uk
- ✿ ***"The genetic basis of organic form"***, E. W. Sinnott, *Annals of the New York Academy of Sciences* **71**, 1223 (1958), o el libro del mismo autor: ***The problem of organic form***, en Yale University Press 1963.
- ✿ "Lattice models of biological growth", D.A. Young y E.M. Corey, *Physical Review A* **41**, 7024 (1990); describe el modelo que he usado para crear unas formas así como interesantes extensiones del método para analizar procesos alométricos (ee, crecimiento de formas biológicas, incluyendo la simulación de varios tipos de hojas).
- ✿ obtención de formas de maleza: web.comhem.se.
- ✿ ***"Elizabethan Geometry"*** (ej. de morfogénesis; cómo pautas sencillas originan formas naturales, complejas; detalles en *Physical Review Letters* **101**, 68101 (2008)
- ✿ el libro ***Evolutionary Dynamics - Exploring the Equations of Life***, por M.A. Nowak, Harvard University Press 2006.

Discusión y ejercicios

Invariantes y otras consecuencias de las leyes de escala en biología:

- * “A general model for ontogenetic growth”, G.B. West, J.H. Brown y B.J. Enquist , *Nature* **413**, 628 (2001) (datos para mi figura evolución con tiempo de la masa de algunos seres vivos). En “All creatures great and small” pág. 342 mismo *Nature*, se mencionan críticas al modelo
- * “Life’s Universal Scaling Laws”, G.B. West y J.H. Brown, *Physics Today*, [página 36, Septiembre 2004](#)
- * “Scaling and power-laws in ecological systems”, P.A. Marquet y otros, *The Journal of Experimental Biology* **208**, 1749 (2005) (figura frecuencia de especies en función de su masa)
- * El carácter fractal de los árboles, que parece adaptarse a las condiciones del lugar, se describe en www.afrc.uamont.edu.

Discusión y ejercicios

Una interesante discusión de correlaciones y falta de escala, y su poder descriptivo, en fisiología, en

- * “Fractal dynamics in physiology: Alterations with disease and aging”, por Ary L. Goldberger y otros en *Proceedings of the National Academy of Sciences* (EE UU) **99**, suplemento 1, 2466 (2002), de donde he adaptado una figura sobre ritmo cardíaco.
- * Véase también el trabajo [Effect of meditation on scaling behavior and complexity of human heart rate variability](#) por Anjishnu Sarkar y P. Barat.

Discusión y ejercicios

- ✿ Para referencias a historias reales y ficticias sobre longevidad, consúltese en.wikipedia.org.
- ✿ La influencia de las estrategias reproductivas en el envejecimiento se comenta en “Diferencias sexuales en el envejecimiento”, por Juan Carranza, en *Investigación y Ciencia*, página 30, junio 2007.
- ✿ Algunas consecuencias del modelo de Penna, en “The Penna Model for Biological Aging and Speciation”, Suzana Moss de Oliveira y otros, *Computing in Science & Engineering*, Mayo-Junio 2004, página 74.
- ✿ Escala y universalidad en datos sobre mortalidad, y ley sobre la mortalidad canónica: Mark Ya. Azbel, en “Exact law of live nature”, publicado en [*Modeling Cooperative Behavior in the Social Sciences*](#), editado por P.L. Garrido, J. Marro y M.A. Muñoz, *American Institute of Physics*, NY 2005.

Discusión y ejercicios

- * Acerca de nuevas técnicas en estudio del cerebro y sus funciones: “Magnetoencefalografía y exploración de la dinámica cerebral”, Miguel Sancho y otros, *Revista Española de Física* **21** (nº 3, Octubre), 17 (2007)
- * Sobre Ramón y Cajal:
www.aragob.es www.redaragon.com, www.cajal.csic.es
cajal.unizar.es www.repatologia.com www.repatologia.com2
Cajal on the cerebral cortex: an annotated translation of the complete writings, ed. J. Defelipe y E.G. Jones, Oxford University Press, NY 1988
- * El cerebro se trata también en en.wikipedia.org y sus enlaces, como [Portal: Neuroscience](#).

Discusión y ejercicios

Sobre modelización de funciones cerebrales y el *modelo estándar*, los libros:

- * Daniel J. Amit, ***Modeling Brain Functions***, Cambridge University Press 1989;
- * Tamás Geszti, ***Physical Models of Neural Networks***, World Scientific, Singapur 1990;
- * Pierre Peretto, ***An Introduction to the Modeling of Neural Networks***, Cambridge University Press 1992.

Discusión y ejercicios

Las variantes mencionadas del *modelo estándar*, en

- * “Effect of Correlated Fluctuations of Synapses in the Performance of Neural Networks”, *Physical Review Letters* **81**, 2827 (1998) y “Neural networks in which synaptic patterns fluctuate with time”, *Journal of Statistical Physics* **94**, 837 (1999), por J. Marro y otros;
- * “Switching between memories in a neural automata with synaptic noise”, *Neurocomputing* **58**, 67, 229 (2004), por J.M. Cortés y otros;
- * Effects of static and dynamic disorder on the performance of neural automata”, *Biophysical Chemistry* **115**, 285 (2005), por J.J. Torres y otros;
- * “Algorithms for identification and categorization”, en *Modeling Cooperative Behavior in the Social Sciences, AIP Proceedings Series*, **779**, 178 (2005), por P.L. Garrido y otros;
- * “Effects of fast presynaptic noise in attractor neural networks”, *Neural Computation* **18**, 614 (2004), por J. Marro y otros, “Chaotic hopping between attractors in neural networks”, *Neural Networks* **20**, 230 (2007), y “Controll of neural chaos by synaptic noise”, *Biosystems* **87**, 186 (2007), por J.M. Cortés y otros.

Discusión y ejercicios

Sobre neurogénesis, la web interactiva www.wellesley.edu.

Sobre inestabilidades y condiciones críticas:

- * “When instability makes sense”, P. Ashwin y M. Timme, *Nature* **436**, 36 (2005);
- * “Are our senses critical?”, D.R. Chialvo, en *Nature Physics* **2**, 301 (2006);
- * “Optimal dynamical range of excitable networks at criticality”, O. Kinouchi y M. Copelli, *Nature Physics* **2**, 348 (2006).

Evidencia de invariancia de escala funcional en el cerebro: “Scale-free brain functional networks”, V.M. Eguíluz y otros, *Physical Review Letters* **94**, 018102 (2005).

Discusión y ejercicios

Debate sobre si el cerebro es clásico o cuántico:

Importante pues modelos usuales estudio procesos cognitivos y tratamiento información son clásicos.

Pero algunos han defendido que sólo puede profundizarse en (ej) la comprensión de la conciencia involucrando conceptos cuánticos.

Es discutible. Se ha argumentado (ej) que la fenomenología “macro-cuántica” que se quiere involucrar a nivel fundamental es irrelevante en las escalas que interesan.

Por ejemplo, Max Tegmark ([The importance of quantum decoherence in brain processes](#), *Physical Review E* **61**, 4194 (2000) y [Why the brain is probably not a quantum computer](#), *Information Sciences* **128**, 155 (2000): el tiempo que tarda una onda cuántica en perder su coherencia es, como máximo, del orden de 10^{-13} segundos en el entorno que interesa, mientras que su utilidad en procesos como el mencionado requeriría que retrasara su decaimiento hasta un segundo.

Recomendamos el libro ***El error de Descartes. La emoción, la razón y el cerebro humano***, de A.R. Damásio, Ed. Crítica, Barcelona 2001

Discusión y ejercicios

Referencias generales para este capítulo, los libros:

- ✿ J. Marro y R. Dickman (define y describe el comportamiento de otros modelos de interés social y detalles adicionales de modelos discutidos o mencionados) ya mencionado
- ✿ ***Modeling Cooperative Behavior in the Social Sciences***, ed. P.L. Garrido, J. Marro y M.A. Muñoz en American Institute of Physics, Nueva York 2005, también mencionado.

Un excelente libro de sociología que desarrolla algunos de los conceptos tratados en este capítulo es ***El miedo es el mensaje: riesgo, incertidumbre y medios de comunicación***, de Enrique Gil Calvo editado en Alianza Editorial, Madrid 2003.

Discusión y ejercicios

El dilema del prisionero se desarrolla en plato.stanford.edu y hay juegos interactivos en www.princeton.edu y prisonersdilemma.groenefee.nl.

La aplicación de esta idea a modelos con interés en biología y sociología: “The arithmetics of mutual help”, *Scientific Amer.* **272**, 76 (1995), M.A. Nowak, R.M. May y K. Sigmund

La paradoja de Parrondo se introdujo en “Reversible Ratchets as Brownian Particles in an Adiabatically Changing Periodic Potential”, *Physical Review E* **57**, 7297 (1998), J.M.R. Parrondo, y la discuten

Gregory P. Harmer y Derek Abbott en “Game theory: Losing strategies can win by Parrondo’s paradox”, *Nature* **402**, 864 (1999).

Discusión y ejercicios

Recomendamos [The Tragedy of the Commons](#) (véase www.garretthardinsociety.org), de Garret Hardin, en *Science* **162**, 1243 (1968) y, del mismo autor, “Extensions”, *Science* **280**, 682 (1998).

Modelos de reciprocidad, en el libro de [Karl Sigmund](#) referenciado en el capítulo 2, y en el de [Martin A. Nowak](#), [Evolutionary Dynamics: Exploring the Equations of Life](#), Harvard University Press en 2006.

Un espectacular ejemplo de reciprocidad entre animales puede verse en el vídeo www.youtube.com.

Discusión y ejercicios

Recomendamos [Robert Axelrod](#), *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*, Princeton University Press 1997.

El modelo de Axelrod ha sido también estudiado en “Nonequilibrium Phase Transition in a Model for Social Influence”, por Claudio Castellano, Matteo Marsili y Alessandro Vespignani, en *Physical Review Letters* **85**, 3536 (2000).

Para la versión en una red, véase “Nonequilibrium phase transition in the coevolution of networks and opinions”, por Petter Holme y Mark E.J. Newman, en *Physical Review E* **74**, 056108 (2006), de donde he adaptado una figura.

Discusión y ejercicios

En relación con economía y finanzas:

- * ***The economy as an evolving complex system***, P. W. Anderson, K.J. Arrow y David Pines, Addison-Wesley, Redwood 1988, un clásico;
- * ***An Introduction to Econophysics - Correlations and Complexity in Finance***, R. N. Mantegna y H. Eugene Stanley, Cambridge University Press 2000;
- * ***The Statistical Mechanics of Financial Markets***, J. Voit, Springer-Verlag, Berlin 2001, describe otros modelos “microscópicos”;
- * ***Why Stock Markets Crash: Critical Events in Complex Financial Systems***, D. Sornette, Princeton University Press 2002.
- * Una sencilla perspectiva de la econofísica en contexto teoría económica tradicional: *Is Economics the Next Physical Science?*, [Physics Today, September 2005, página 37.](#)

Discusión y ejercicios

El modelo de comportamiento gregario fue propuesto en

“Transmission of information and herd behaviour: an application to financial markets”, *Physical Review Letters* **85**, 5659 (2000), V.M. Eguíluz y M.G. Zimmermann.

Véase también:

- ✿ S. Ghashghaie, W. Breymann, J. Peinke, P. Talkner y Y. Dodge, *Nature* **381**, 767 (1996).
- ✿ eil.stanford.edu (estampidas, etc.)
- ✿ “Scale invariance and universality of economic fluctuations”, H.E. Stanley y otros, *Physica A* **283**, 31 (2000);
- ✿ “Scale invariance and universality in economic phenomena”, H.E. Stanley y otros, *Journal of Physics: Condensed Matter* **14**, 2121 (2002).

Discusión y ejercicios

También es recomendable en este contexto:

- * www.tendencias21.net,
- * [“Dynamics of crowd disasters: An empirical study”](#) por Dirk Helbing, Anders Johansson y Habib Zein Al-Abideen, en *Physical Review E* **75**, 046109 (2007),
- * “Agent-based models of financial markets”, en *Reports on Progress in Physics* **70**, 409 (2007), por Egle Samanidou, Elmar Zschischang, Dietrich Stauffer y Thomas Lux.