

Clase 3: Sociofísica: Modelos de dinámica social

Mario Cosenza

Mecánica Estadística Avanzada:

Modelos discretos en Sistemas Complejos



Latin American alliance for
Capacity building in Advanced physics

LA-CoNGA physics



Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea



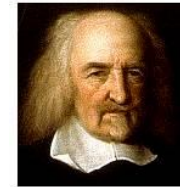


Sociedad mecánica

Galileo, Newton crearon la Mecánica y la Ciencia Moderna

“As a clock must be disarmed to understand its functioning in terms of gears, it is necessary to understand what human qualities lead to a civil government”. “Man is a wolf to man”

Thomas Hobbes, *Leviathan* (1651).



“Ahora que la mente humana ha comprendido la física celeste y la física terrestre, la física química, la física orgánica, tanto vegetal como animal, queda una Ciencia por completar la serie de ciencias de la observación: la *Física Social*. Esta es la que los hombres más necesitan hoy en día; y ésta es el objetivo del presente trabajo”.

Auguste Comte, *Cours de Philosophie Positive* (1830).

“La especie humana, considerada en masa, pertenece al dominio de leyes físicas y de probabilidades”.

Adolphe Quetelet: *Essai de Mechanique Sociale* (1835).



Analogía sistemas sociales –Termodinámica:

Laplace, Maxwell, Boltzmann, Gibbs, Fisher, Majorana.



Sociedad compleja



There are mechanisms that lead to collective organization from disorderly individual behavior.

Thomas Schelling, *Micromotives and Macrobehavior*, 1978.

“These models demonstrate that it is possible to use simple interaction laws to generate higher levels of organization from elementary agents”.

Robert Axelrod, *The Complexity of Cooperation*, 1997.



“The arrival of physicists to a new research area often preludes a period of great discoveries. Nothing we love more than breaking into new problems. The social sciences are a great field to look for problems in complex systems”.

Duncan Watts, *Six Degrees, The Science of a Connected Age*, 2003.



Sistemas sociales vs. Sistemas físicos

Hipótesis: Fenómenos sociales (algunos) → comportamientos emergentes → Física.

Algunos problemas en Sociofísica:

- Competencia y cooperación.
- Formación de opinión y voto.
- Redes sociales complejas.
- Organizaciones.
- Consenso y polarización.
- Propagación de información.
- Multitudes y movilidad.
- Medios masivos y propaganda.

Conceptos y técnicas:

Física Estadística, Dinámica No Lineal y Caos, Redes Complejas, Simulación.

Econofísica: modelos de intercambio económico, distribución de riqueza, finanzas, análisis de series de tiempo, datos...\$\$\$\$

Existen diferencias entre sistemas sociales y sistemas físicos:

- Experimentos: En sistemas sociales: historia, encuestas. *Recientemente*: internet, llamadas telefónicas, redes sociales, Google, datos.
- Sentido: “*La vida no es la que uno vivió, sino la que uno recuerda y cómo la recuerda para contarla*”.
Gabriel García Márquez, Vivir para contarla, 2002.



Conceptos generales

Statistical Physics of social dynamics. C. Castellano, S. Fortunato, V. Loreto, Rev. Mod. Phys. **81**, 591 (2009)

Sistemas sociales son intrínsecamente discretos: agentes, espacio (red), tiempo, estados (opciones discretas en muchos casos).
Aproximación campo medio puede ser útil (límite $N \rightarrow \infty$), soluciones analíticas.

Simplificación de interacciones sociales: principios generales empíricos (no leyes físicas).

Universalidad: propiedades generales como simetrías, dimensionalidad, topología de conectividad, cantidades conservadas
→ relevantes para comportamiento colectivo.

Algunos principios de interacción social:

- Homofilia: tendencia a interactuar con similares (Heterofilia: con diferentes).
- Influencia social: tendencia a imitar o adaptarse al entorno, vecinos.
- Umbral de interacción (*confianza limitada*): interacción ocurre si se cumple alguna condición (no demasiado diferentes, rango de interacción).
También en sistemas biológicos.

Dinámica de interacción es *generalmente* disipativa (sistema fuera de equilibrio): reduce la variabilidad del estado inicial, puede conducir a:

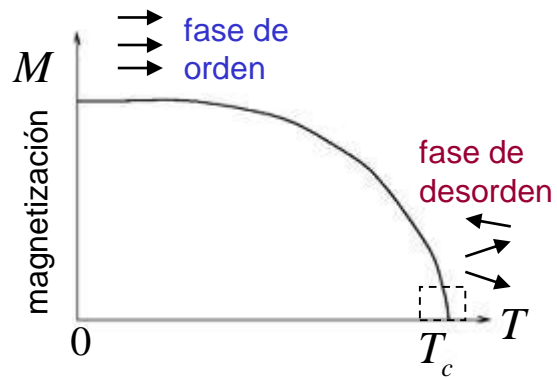
- estado homogéneo (absorbente), todos los elementos comparten los mismos atributos (opinión, cultura, lenguaje, velocidad) → **fase ordenada**.
- estado de diversidad, grupos distintos → **fase desordenada**.

Pregunta general:

¿Cuáles mecanismos, interacciones, o parámetros controlan las transiciones de fase orden—desorden?
Consenso, globalización — diversidad, polarización.



Transiciones de fase, versión corta



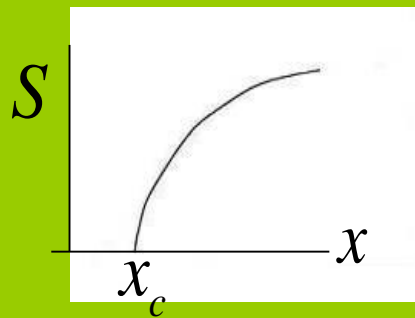
Ejemplo: Orden colectivo emerge de las interacciones entre dipolos magnéticos.

Punto crítico T_c : valor definido de un parámetro de control (temperatura, presión, intensidad de campo externo) que separa dos fases. **Transición de fase ocurre en $T = T_c$**

Parámetro de orden estadístico M : caracteriza las fases.

Escalamiento o forma funcional para $T \rightarrow T_c$: $M \sim (T_c - T)^\beta$

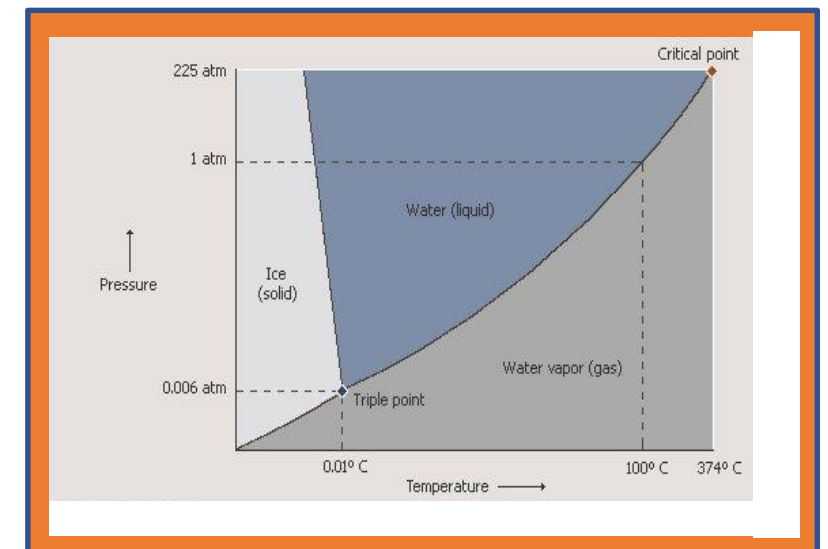
En general, $S \propto (x - x_c)^\beta$
 β : exponente crítico.



discontinuidad en la derivada de S en x_c

Diagrama de fases en espacio de parámetros

Agua





Modelos de formación de opinión: modelo del votante

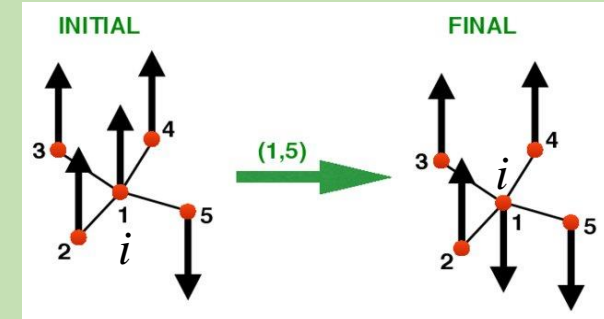
Red uniforme fija: N nodos, k vecinos cada nodo. Cada votante (nodo) i puede tener uno de dos estados de opinión equivalentes: $s_i = +1$ (\uparrow), $s_i = -1$ (\downarrow),

“Magnetización” inicial: $M = \frac{N_{\uparrow} - N_{\downarrow}}{N}$ N_{\uparrow} y N_{\downarrow} = número inicial de nodos en estados \uparrow y \downarrow , respectivamente.

Evolución de las opiniones se describe por el siguiente algoritmo iterativo:

1. Escoger un votante i al azar con probabilidad uniforme.
2. Votante i adopta el estado de un vecino seleccionado al azar.

Iterar hasta alcanzar estado asintótico de consenso: todos \uparrow o todos \downarrow
Dinámica disipativa: reduce número de estados en el tiempo.



Probabilidad de transición de nodo i : $w_i = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{k} s_i \sum_{j \in \mathcal{V}_i} s_j \right)$

Vecinos todos iguales a $i \rightarrow w_i = 0$.
Vecinos todos opuestos a $i \rightarrow w_i = 1$.
Vecinos mitad y mitad con $i \rightarrow w_i = 1/2$

N grande: configuración de pares (+ -) decae a (+ +) o (- -) con igual probabilidad $\rightarrow M$ se conserva.

Parámetro de orden: $E(M)$ = *probabilidad de salida*: probabilidad que N votantes alcancen consenso $+(\uparrow)$ como función de M .

$$M_{\infty} = (+1)E(M) + (-1)(1 - E(m)) = M$$

$$E(M) = \frac{M + 1}{2}$$

Existen muchas extensiones. Ejemplo: Holme-Newman con q estados, sin recableado (Clase 2).

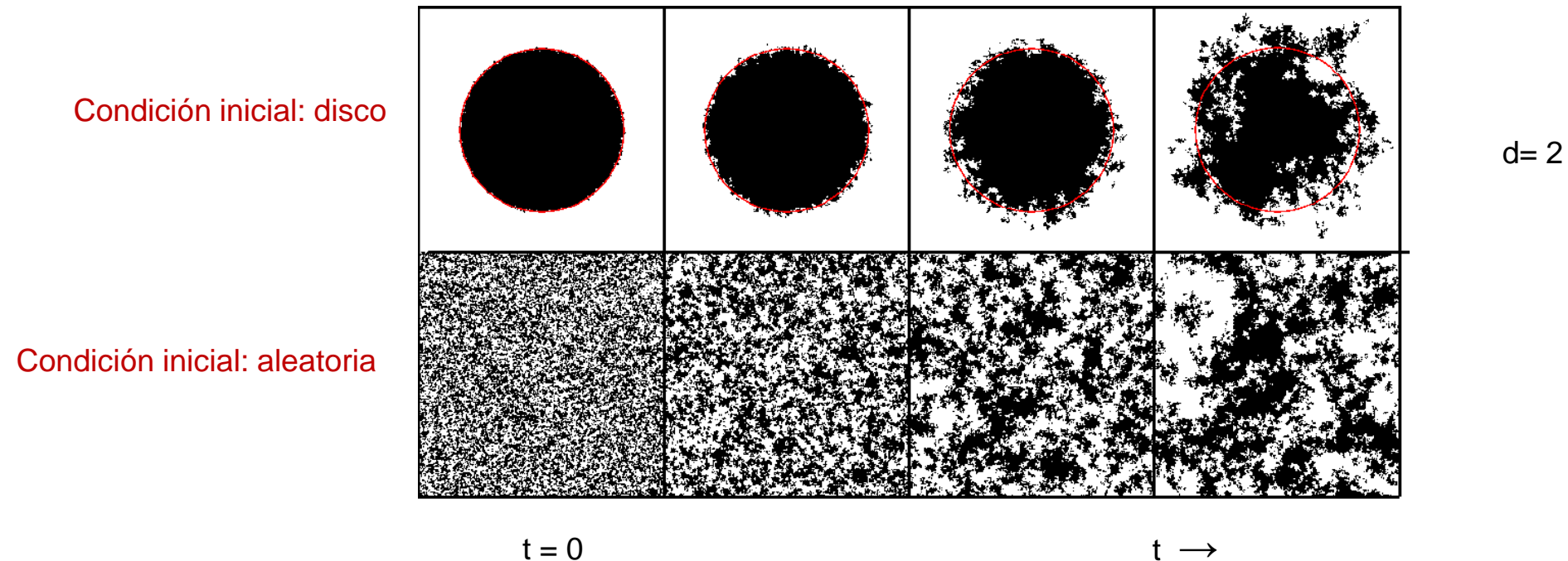


Crecimiento y formación de dominios en modelo del votante

I. Dornic, H. Chaté, J. Chave, H. Hinrichsen, Phys. Rev. Lett. **87**, 045701 (2001).

Crecimiento de dominios (conjunto de elementos conectados que comparten un mismo estado) ocurre sin tensión superficial.

Volumen de dominio no se reduce en el tiempo, no hay efectos de curvatura (como sería con tensión).



Tiempo para consenso: $d = 1 \rightarrow T_{\infty} \sim N^2$, $d = 2 \rightarrow T_{\infty} \sim N \ln N$, $d > 2 \rightarrow T_{\infty} \sim N$



Modelo de opiniones con umbral de interacción: modelo de Deffuant

G. Deffuant, D. Neau, F. Amblard, G. Weisbuch, *Advances in. Complex Systems* **3**, 87 (2000).

Red con N nodos, nodo i con k_i vecinos. Estado de nodo o agente i en tiempo t : $s_i(t) \in [0,1]$ (estado continuo de opinión, espectro de opiniones).

Dinámica de las opiniones dada por el algoritmo iterativo:

1. Escoger un agente i y uno de sus vecinos j al azar.
2. Si $|s_i(t) - s_j(t)| < d$, entonces:

$$s_i(t+1) = s_i(t) + \mu[s_j(t) - s_i(t)]$$
$$s_j(t+1) = s_j(t) + \mu[s_i(t) - s_j(t)]$$

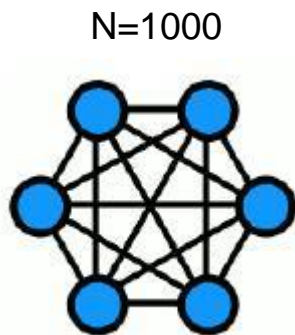
d = umbral para interacción

μ = parámetro $\in [0,0.5]$

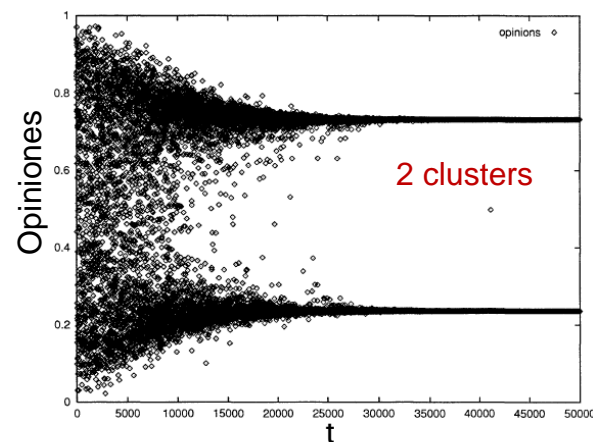
Iterar hasta alcanzar estado asintótico estacionario.

Dinámica disipativa: reduce número de estados en el tiempo.

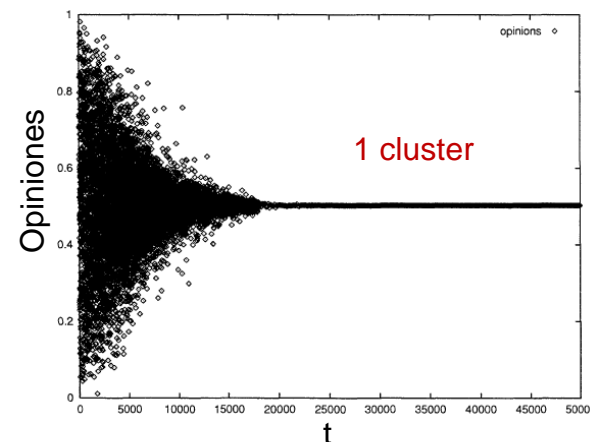
Ejemplo: red global



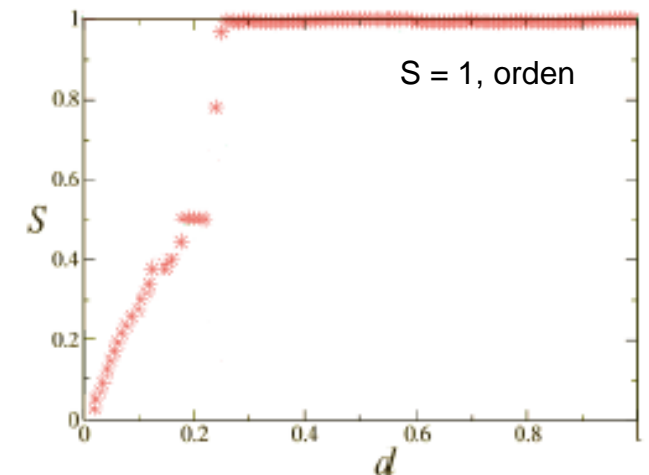
Evolución temporal, $d=0.2$, $\mu=0.5$



Evolución temporal, $d=0.5$, $\mu=0.5$



S = tamaño promedio normalizado del dominio (cluster) más grande $\mu=0.5$





Modelo de opiniones discretas valoradas

R. Likert, Archives of Psychology 22, 1 (1932): escala de valoración o satisfacción de producto o servicio, encuestas.

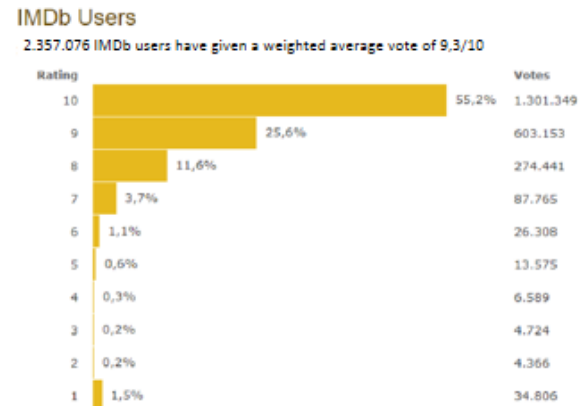
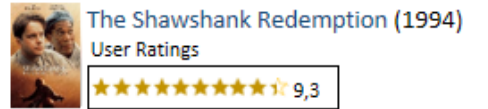
Fire TV Stick 4K



Customer reviews

★★★★☆ 4.7 out of 5

552,720 global ratings



D. Stauffer, A. Sousa, C. Schulz, JASSS 7, 1 (2004).

Red con N nodos, $\langle k \rangle =$ número promedio de vecinos por nodo

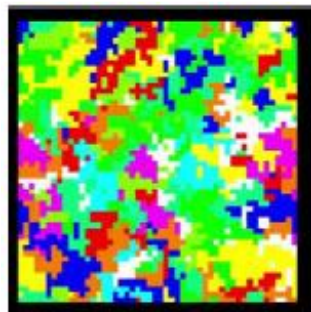
$s_i(t) \in \{1, 2, \dots, G\}$ (opiniones discretas en una escala de 1 a G).

Dinámica de las opiniones dada por el algoritmo iterativo:

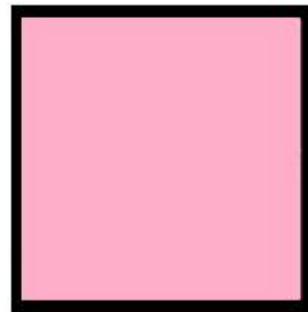
1. Escoger un agente i y uno de sus vecinos j al azar.
2. Si $|s_i(t) - s_j(t)| < d$, entonces: $s_i(t + 1) = s_j(t)$

Iterar hasta alcanzar estado asintótico estacionario.

$N = 50 \times 50$, $G=100$, $u=d/G$, $u_c = 0.22$

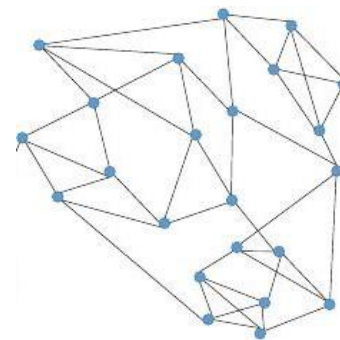


$u < u_c$
 $S \rightarrow 0$

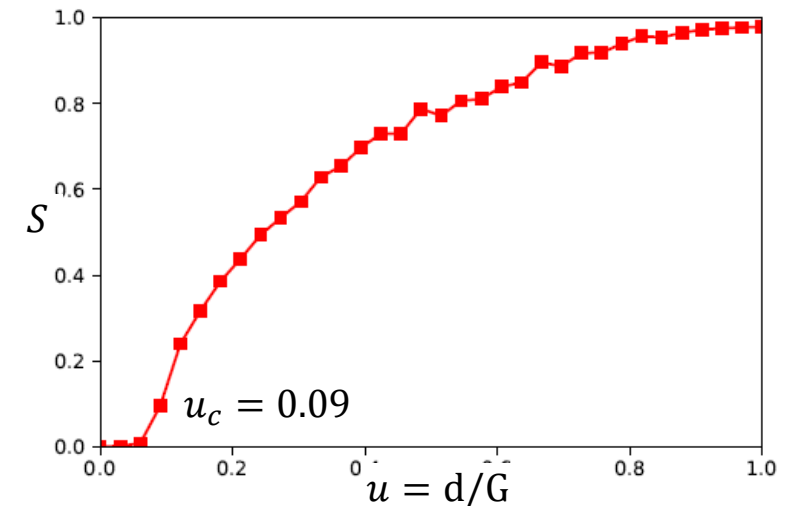


$u > u_c$
 $S \rightarrow 1$

Red aleatoria, $\langle k \rangle = 4$



K.P. Arias, B. Pinilla, M.G Cosenza, Disertaciones 13, 81 (2020).





<http://laconga.redclara.net>



contacto@laconga.redclara.net



lacongaphysics



Latin American alliance for
Capacity buildiNG in Advanced physics

LA-CoNGA physics



Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea

El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.