

Mecánica Estadística Avanzada (2023):

Modelos discretos en Sistemas Complejos

Clase 3: Modelos de dinámica social

Mario Cosenza



Latin American alliance for
Capacity building in Advanced physics

LA-CoNGA physics



Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea





Clase 3: Modelos de dinámica social



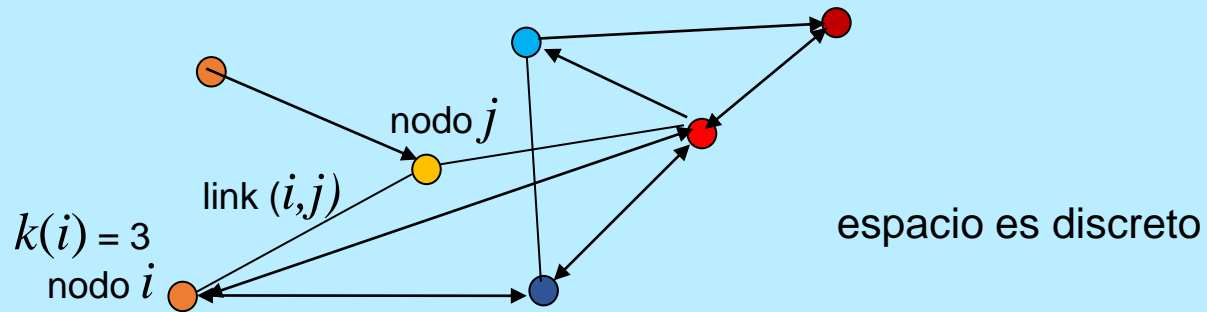
Contenido:

- Sociedad como sistema complejo.
- Sociedad mecánica.
- Sociedad compleja.
- Sistemas sociales vs. Sistemas físicos.
- Modelos de formación de opinión:
 - Modelo del votante.
 - Modelo con umbral para interacción: modelo de Deffuant.
 - Modelo de opiniones discretas valoradas.



Dinámica social, Sociofísica

Sistema complejo: elementos dinámicos + red de interacciones



$i = 1, 2, \dots, N$ (tamaño del sistema)

$k(i)$ = número de conexiones de nodo i

v_i : conjunto de vecinos de i

$x_t(i)$ = estado del nodo i en tiempo t ,
depende de dinámica local de i y vecinos de i

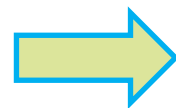
Comportamientos colectivos dependen de: dinámica + conectividad de la red

Muchos sistemas complejos pueden representarse como redes de elementos dinámicos interactuantes



Física

Muchos sistemas sociales se pueden describir así.
Estados: *opinión, voto, recursos, cooperación, etc.*



Sociofísica



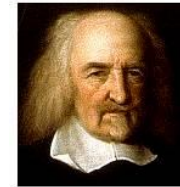


Sociedad mecánica

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

Fenómenos sociales (algunos) → sistemas complejos → comportamientos emergentes → Física

Algunos problemas en Sociofísica:

- Competencia y cooperación.
- Formación de opinión y voto.
- Redes sociales.
- 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. Actualmente: redes sociales, llamadas telefónicas, internet, 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).

Sociofísica: colaboración interdisciplinaria con Ciencias Sociales; nuevas áreas (Sociología Computacional).



Conceptos generales

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

Sistemas sociales son discretos: agentes = nodos de una red, tiempo discreto, estados (opciones discretas en muchos casos).

Sistemas de tamaño N finito. Sin embargo, aproximación campo medio (límite $N \rightarrow \infty$) puede ser útil soluciones analíticas.

Simplificación de interacciones sociales: principios generales empíricos (no leyes físicas).
→ 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 muy diferentes, dentro de un rango). También en sistemas biológicos.

Dinámica de interacción es *generalmente* disipativa (sistema fuera de equilibrio) y puede conducir a:

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

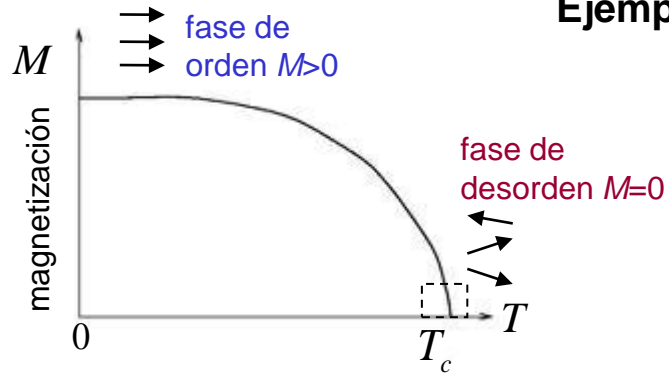
Pregunta general:

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



Transiciones de fase, versión breve

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



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

Parámetro estadístico de orden caracteriza las distintas fases:
Magnetización M (suma de dipolos magnéticos en el sistema)

Forma funcional de M para $T \rightarrow T_c$: $M \sim (T_c - T)^\beta$ β : exponente crítico.

En general, para $x \rightarrow x_c$,
 parámetro de orden S :

$$S \propto (x - x_c)^\beta$$

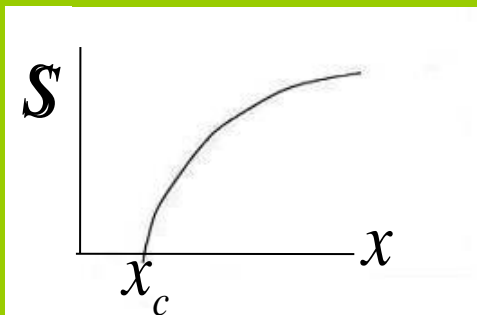
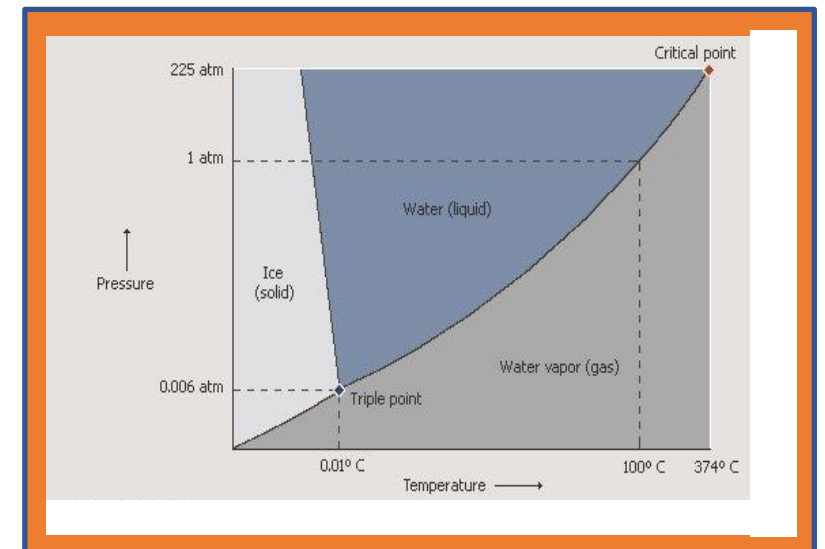


Diagrama de fases en espacio de parámetros

Agua





Modelos de formación de opinión: modelo del votante

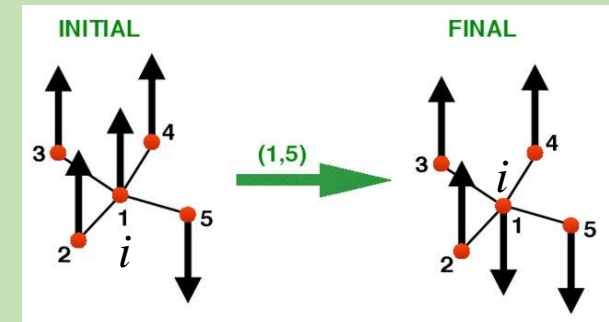
Red uniforme fija: N nodos, k vecinos cada nodo. Cada votante (nodo) i puede tener uno de dos estados de opinión equivalentes: $s_i = +1$ (\uparrow), $s_i = -1$ (\downarrow),

“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:

1. Escoger un votante i al azar con probabilidad uniforme.
2. Votante i adopta el estado de un vecino seleccionado al azar.
3. 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 .

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

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

mayoría inicial tiene mayor probabilidad de ganar.



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

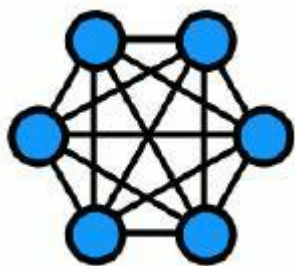
μ = parámetro $\in [0,0.5]$

Iterar hasta alcanzar estado asintótico estacionario.

Dinámica disipativa: reduce número de estados en el tiempo.

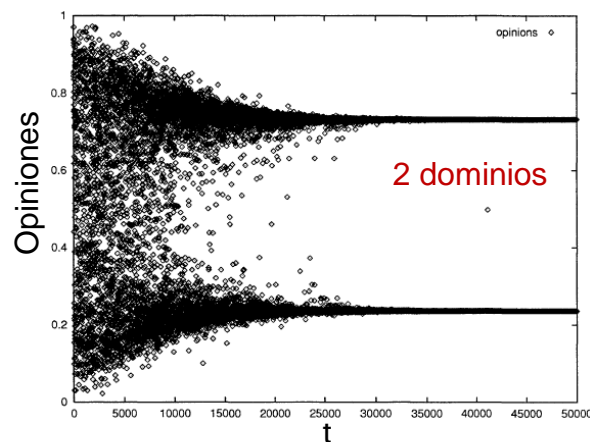
Ejemplo: red global

$N=1000$

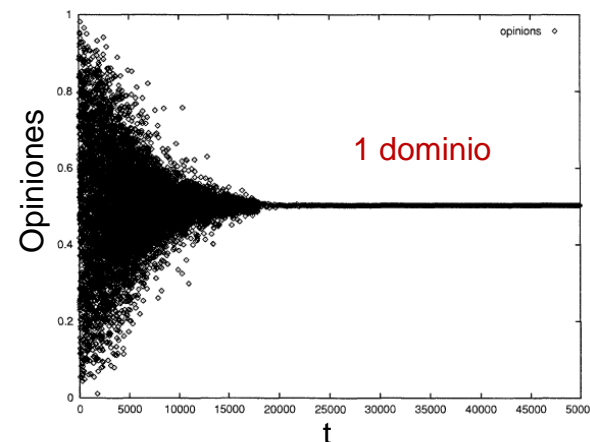


Condiciones iniciales distribuidas aleatoriamente en intervalo $s_i(0) \in [0,1]$

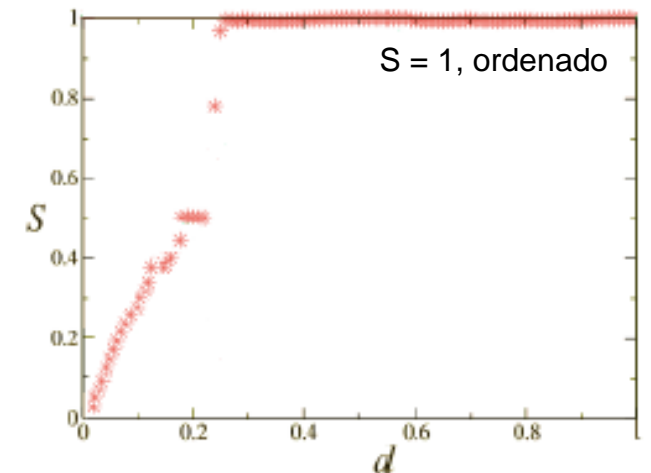
Evolución temporal, $d=0.2, \mu=0.5$



Evolución temporal, $d=0.5, \mu=0.5$



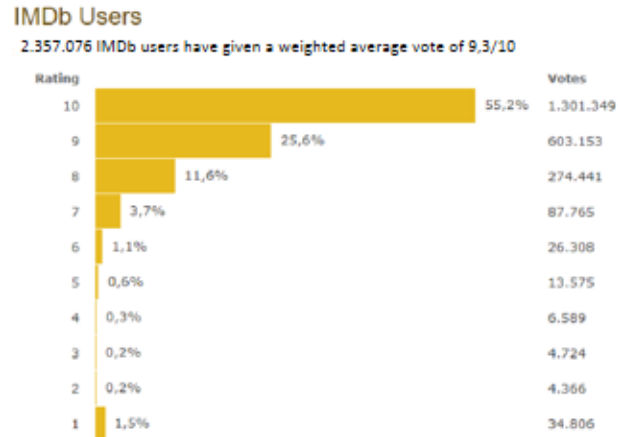
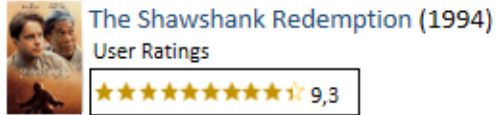
S = tamaño promedio normalizado (dividido por N) del dominio más grande, $\mu=0.5$





Modelo de opiniones discretas valoradas

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



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

Red con N nodos

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

$d \in \{1, 2, \dots, G\}$ = umbral para interacción.

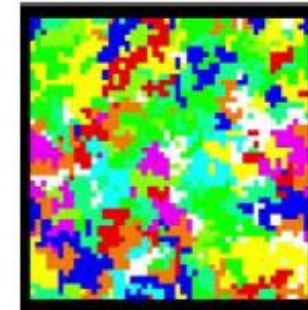
Dinámica de las opiniones dada por el algoritmo:

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

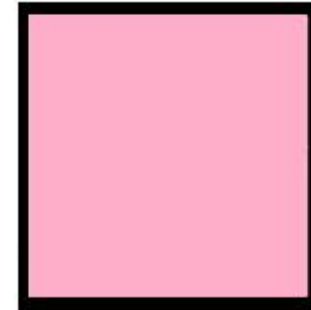
Definir: $u = d/G$

Visualización en red 2-dimensional

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



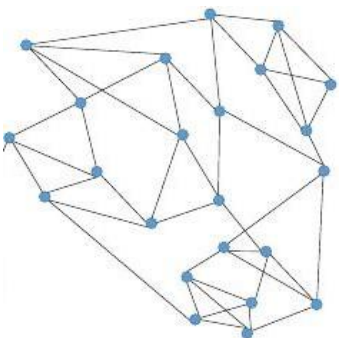
$u < u_c$
 $S \rightarrow 0$



$u > u_c$
 $S \rightarrow 1$

Ejemplo:

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



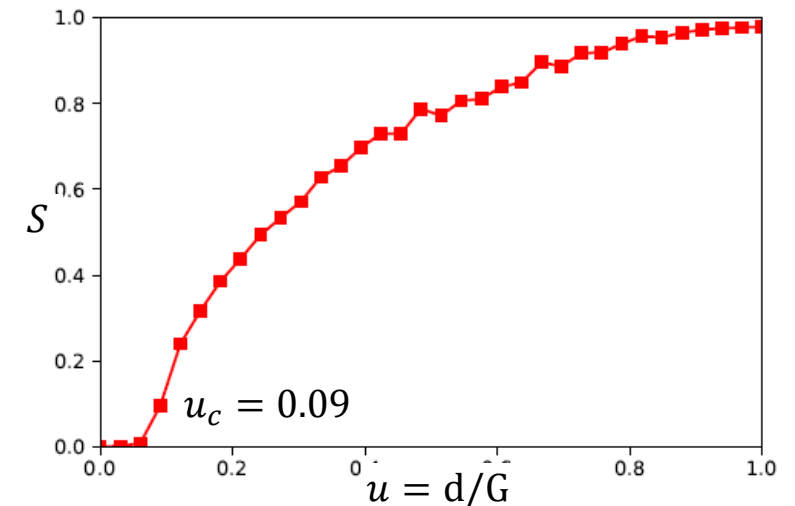
Condiciones iniciales distribuidas aleatoriamente

S = tamaño promedio normalizado del dominio más grande en el sistema en estado estacionario.

$S = 0$: muchos dominios pequeños

$S = 1$: un dominio igual al sistema

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.