

Se desarrolla un modelo dinámico coevolutivo de emergencia de estructuras o coaliciones en sistemas sociales basado en las ideas de formación de nuevos actores políticos de Robert Axelrod. La interacción entre los agentes del sistema sigue la dinámica de conflicto o pago de tributo (pay or else) descrita por Axelrod como un proceso característico en relaciones de poder en sistemas sociales o internacionales. La transferencia de tributos y la ocurrencia de conflictos determinan la aparición de compromisos o acoplamientos entre los agentes, de modo que la conectividad de la red que forman los agentes cambia en el tiempo. De este modo, los estados de los agentes coevolucionan con la topología de la red que ellos forman, lo cual permite el surgimiento de conjuntos de elementos fuertemente acoplados que son interpretados como coaliciones. Se investigan las propiedades del modelo en redes regulares. Se encuentran comportamientos colectivos no triviales, similares a las que se observan en otros sistemas físicos fuera de equilibrio.

Modelo de tributo y conflicto

Algoritmo

Dinámica elemental de “pay or else” (Axelrod):

1. N actores ubicados en nodos de una red (network).
2. Recursos (riquezas) inicial $W_i \in [W_{imin}, W_{imax}]$.
3. Se escoge de forma aleatoria un actor Activo (A), que puede demandar tributo a uno de sus vecinos escogido como Blanco (T).
4. Si A hace una demanda al blanco T , éste tiene dos opciones:
 - a. Si T paga: se transfiere riqueza q (tributo) de T a A si $W_T > q$ o W_T si $W_T < q$.
 - b. Si T pelea: A y T pierden recursos en proporción a los recursos del contrario^[11]
5. Después de un ciclo o año (**número dado de activaciones**), a cada elemento del sistema se le reinyecta una cantidad de riqueza fija o cosecha r (sistema disipativo).

Definimos **vulnerabilidad** de un vecino j con respecto a A :

$$V_{A,j} = \frac{W_A - W_j}{W_A}$$

Escoger $T = j$ tal que $f_j = V_{A,j} \times \min(W_j, q)$ sea máxima.

Si T accede a la demanda de A

$$q, \text{ si } W_T > q \quad W_T, \text{ si } W_T < q$$

Si T va a un conflicto con A

$$L_A = kW_T ; \quad L_T = kW_A$$

Después de un conflicto, la diferencia de riqueza entre A y T es $(1+k)(W_A - W_T)$

Riqueza de las coaliciones

$$W_\alpha = \sum_{i \in \alpha} W_i C_{iA}; \quad W_\tau = \sum_{i \in \tau} W_i C_{iT}$$

Vulnerabilidad de blanco en una coalición

$$V_{A,j} = \frac{W_\alpha - W_\tau}{W_\alpha}$$

Pérdida de cada elemento de una coalición en caso de conflicto:

$$L_{i \in \alpha} = kW_\tau \frac{W_i}{W_\alpha}; \quad L_{i \in \tau} = kW_\alpha \frac{W_i}{W_\tau}$$

Parámetros y Dinámica del modelo tributo

En resumen, nuestro modelo consta de cinco parámetros:

a) El incremento uniforme de riqueza r al final de cada ciclo de 3 iteraciones.

b) La constante de proporcionalidad para pérdida de riqueza k .

c) El parámetro de cambios de compromisos c .

d) Unidad de tributos q .

e) Umbral de compromiso para pertenecer a una coalición u .

Ejemplo: Red **1D** con $N=10$ y condiciones de contorno periódicas.

Riqueza inicial $W_i \in [300,500]$.

Cosecha $r = 20$.

Año = 3 activaciones.

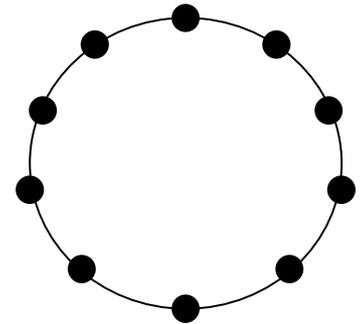
Ctte. perdida $k = 0.25$.

Umbral $u = 0.5$

$C_{ij} \in [0,1]$, $c = 0.1$. Siempre $C_{ii} = 1$.

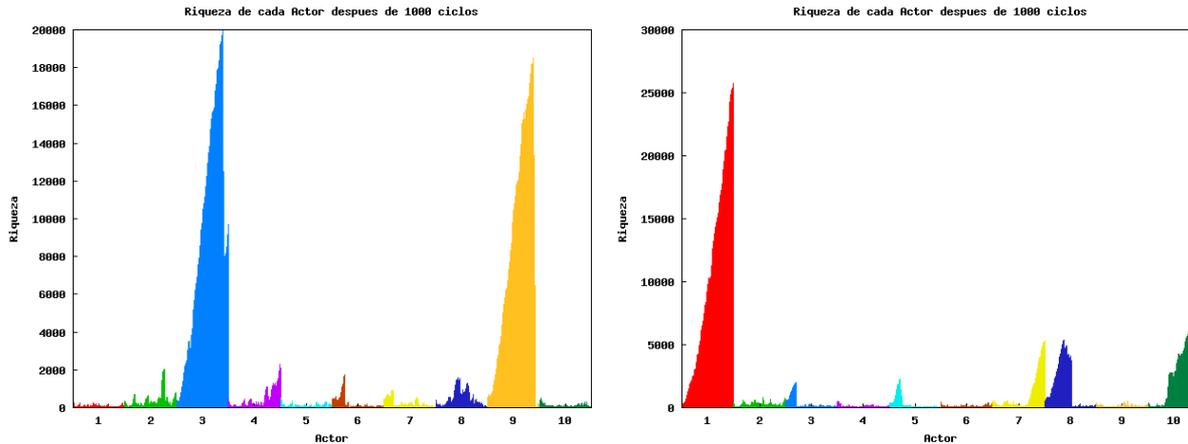
Al inicio $C_{ij} = 0$.

Unidad de tributos es $q = 250$.

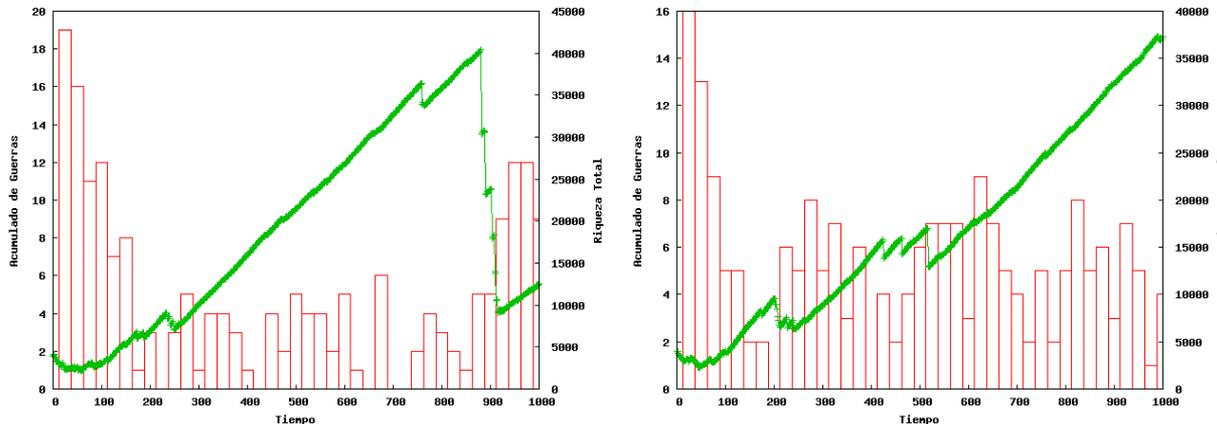


Evolución de riqueza de los Actores

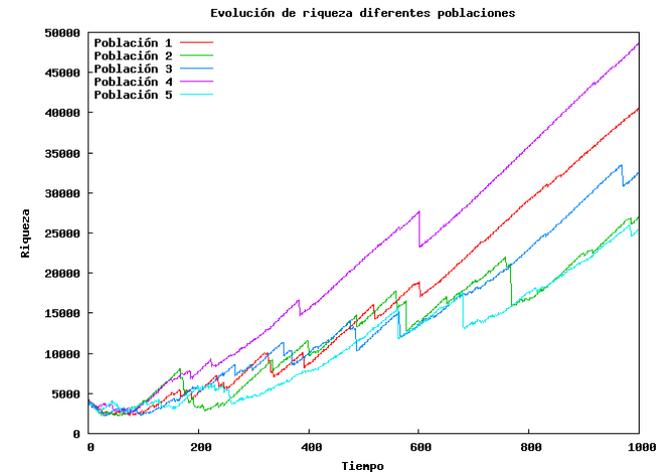
Evolución de la riqueza a lo largo de la simulación de un sistema de 10 elementos.



Acumulado de Guerras cada 25 ciclos (barras) y Riqueza total del sistema (línea).



Riqueza total para distintas simulaciones.



La distribución de la riqueza entre los elementos del sistema es desigual.

Matriz de compromisos

Matriz de compromisos para $t = 50$

i,j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.0	0.3	-	-	-	-	-	-	0.1	0.4
2	0.3	1.0	-	-	-	-	-	-	0.2	0.2
3	-	-	1.0	0.2	-	-	-	-	-	-
4	-	-	0.2	1.0	0.3	-	-	-	-	-
5	-	-	-	0.3	1.0	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	1.0	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	1.0	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	1.0	0.5	-
9	0.1	0.2	-	-	-	-	-	0.5	1.0	0.1
10	0.4	0.2	-	-	-	-	-	-	0.1	1.0

Matriz de compromisos para $t = 500$

i,j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.0	1.0	0.7	-	-	-	-	1.0	1.0	1.0
2	1.0	1.0	1.0	-	-	-	-	1.0	1.0	1.0
3	0.7	1.0	1.0	-	-	-	-	1.0	0.9	0.7
4	-	-	-	1.0	1.0	0.6	1.0	-	-	-
5	-	-	-	1.0	1.0	1.0	1.0	-	-	-
6	-	-	-	0.6	1.0	1.0	1.0	-	-	-
7	-	-	-	1.0	1.0	1.0	1.0	-	-	-
8	1.0	1.0	1.0	-	-	-	-	1.0	1.0	1.0
9	1.0	1.0	0.9	-	-	-	-	1.0	1.0	1.0
10	1.0	1.0	0.7	-	-	-	-	1.0	1.0	1.0

Evolución de las coaliciones

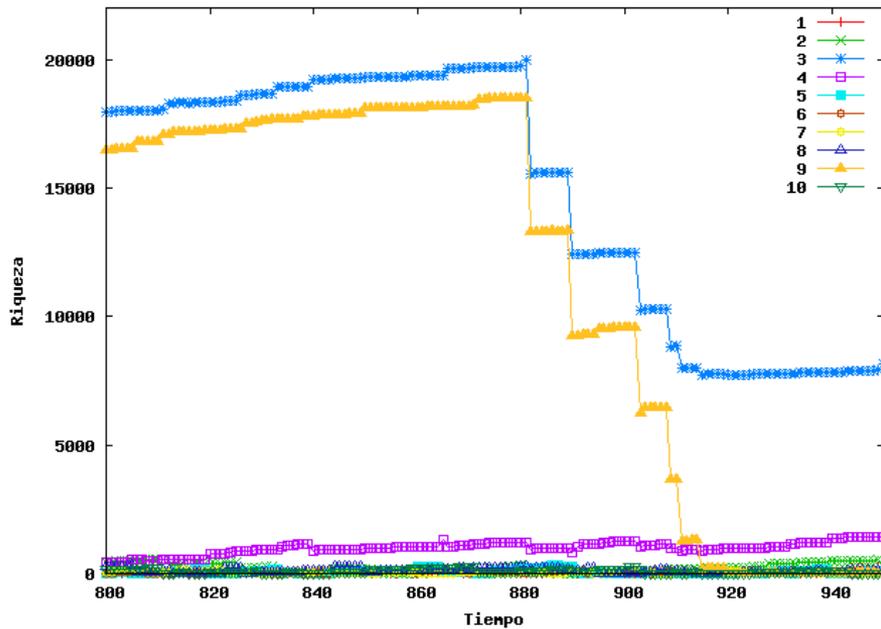
Año	Actor	Actor	Rol
	Activo	Blanco	
50	4	5	-- a A D -----
60	6	5	--- P R -----
100	8	7	aaa - dd D A aa
200	5	7	---- R - P ---
500	7	8	ddd aaa A D ddd

A = atacante; **D** = defensor;
a = aliado atacante; **d** = aliado defensor;
P = pago de tributo; **R** = receptor de tributo.

Auge y caída de imperios

Caída de un Imperio

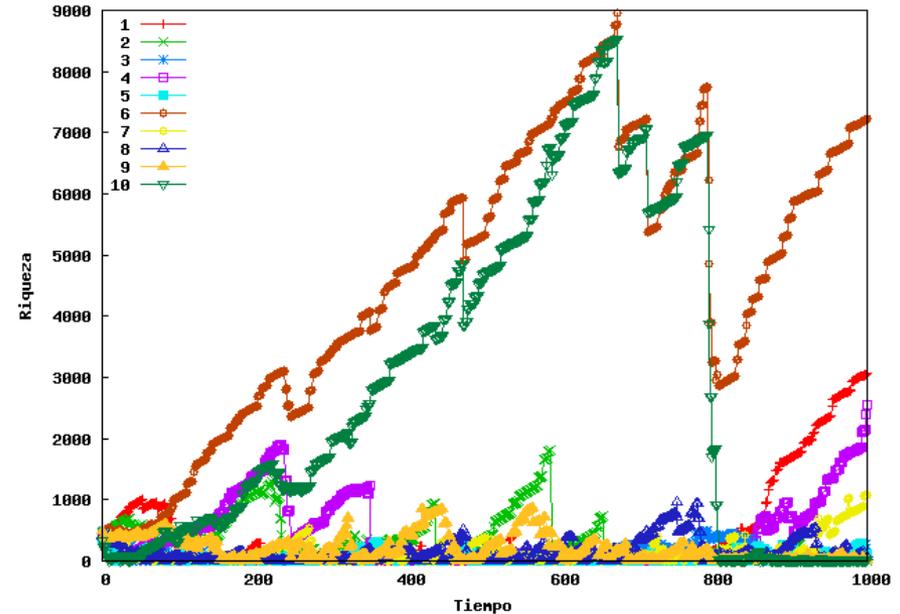
Evolución de Riquezas



Año	Actor Activo	Actor Blanco	Rol
881	5	9	a a a a A d D d d d
882	5	9	a a a a A d D d d d
883 - 887	otras 5 Guerras Mundiales		

Crecimiento de un Segundo Actor en un mismo cluster 6-10

Crecimiento de un Segundo Actor

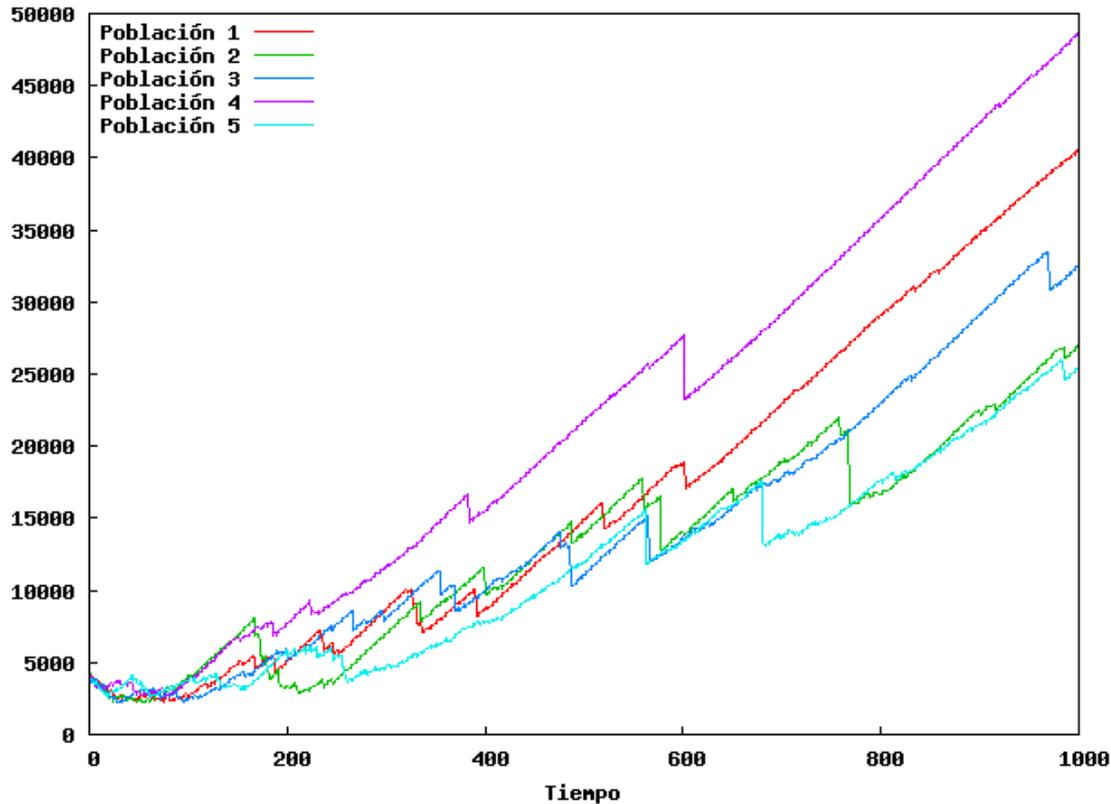


Guerras civiles

Distribución de riqueza en el tiempo

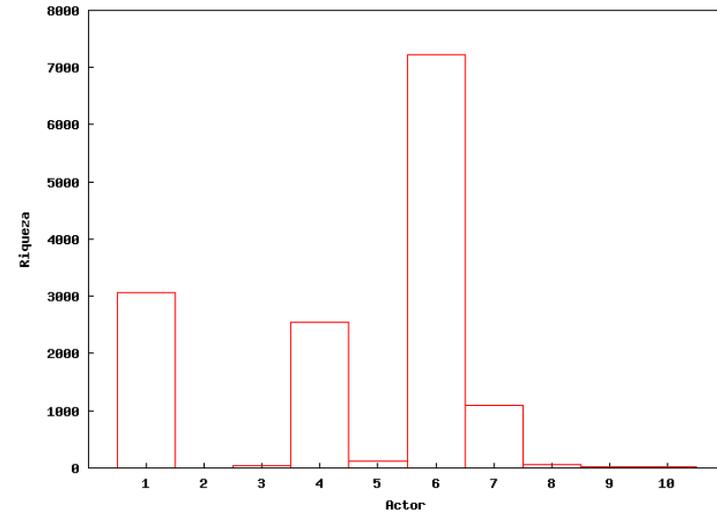
Riqueza total para distintas simulaciones.

Evolución de riqueza diferentes poblaciones

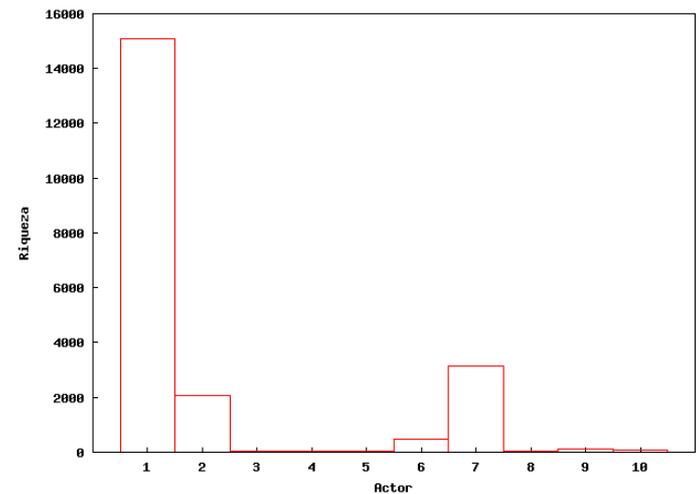


La distribución de la riqueza entre los elementos del sistema es desigual.

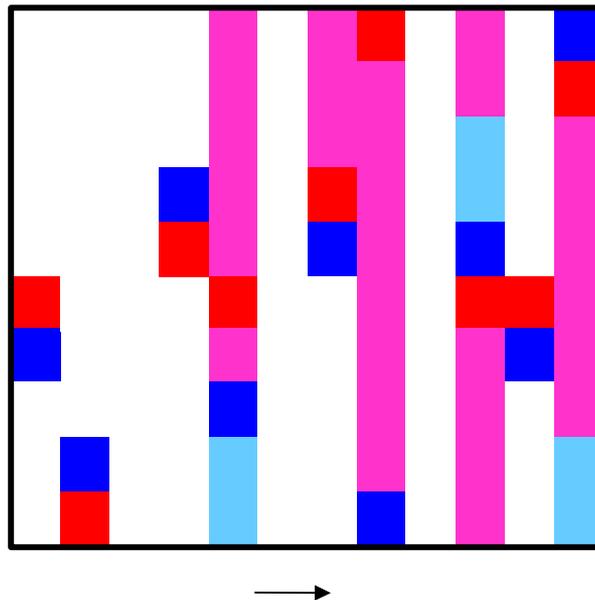
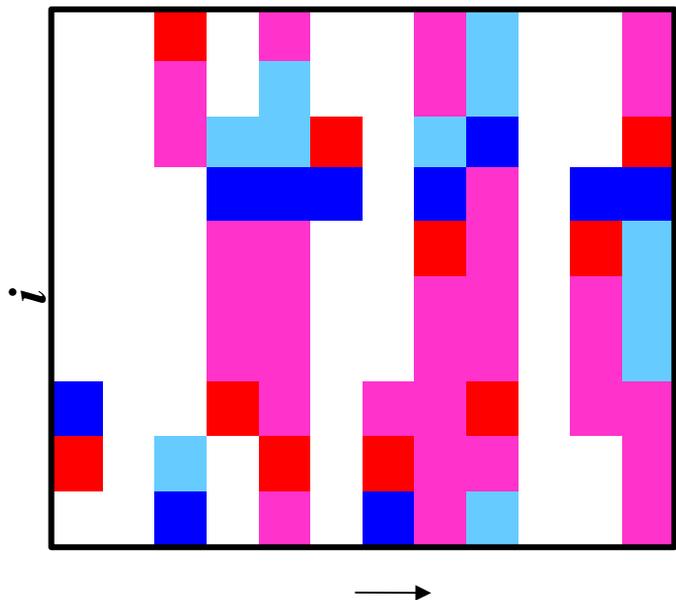
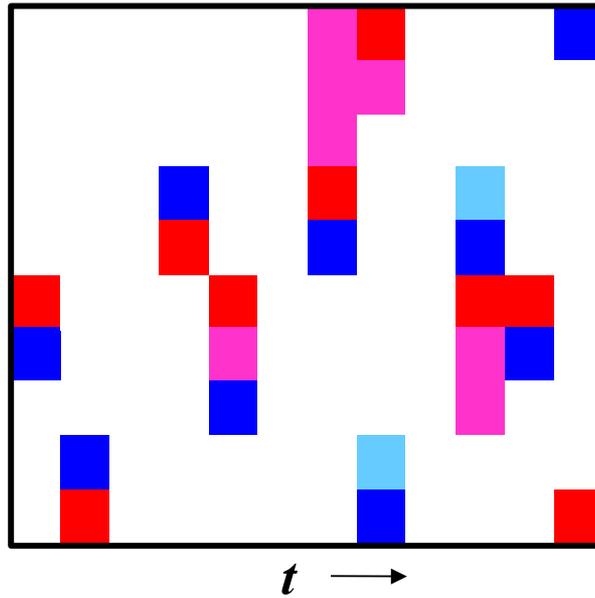
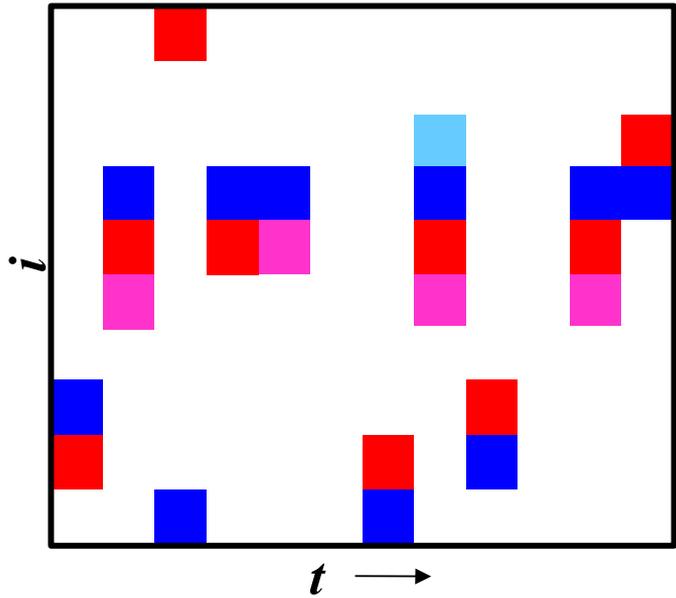
Riqueza de cada Actor despues de 1000 ciclos



Riqueza de cada Actor despues de 1000 ciclos



Patrones espaciotemporales de las coaliciones en 1-d



Parámetros:

$$N = 10$$

$$r = 20$$

$$q = 250$$

$$c = 0,1$$

$$k = 0,25$$

$$u = 0.5$$

■ A atacante

■ T blanco

■ α coalición

■ τ coalición

Problemas para investigar

Caracterizar la matriz de acoplamiento.

Extender modelo a 2 dimensiones. Estudiar influencia de topología de conectividad (redes complejas, redes de pequeño mundo, etc).

Distribuciones de conflictos.

Comportamiento del sistema en función de parámetros.

Búsqueda de transiciones de fases y relaciones de escala (leyes de potencia). Comportamientos colectivos universales.

Conectividad global (potencias insulares) y otras redes de conectividad.

Medir longitud característica, coeficiente de clustering en ***C_{ij}***,

Comparar con datos históricos.

[1] K. Kaneko, Prog. Theor. Phys. 72, 480 (1984).

[2] I. Waller and R. Kapral, Phys. Rev. A 30, 2047 (1984).

[3] Holland J. H. Complex Adaptive Systems, 1992.

[4] Robert Axelrod, Building New Political Actors, Artificial Societies, 1995.

[5] Lanchester F.W., Mathematics in Warfare, Simond & Schuster, New York, 1956.