

Introducción a Autómatas Celulares. Enlace como Sistema Complejo.

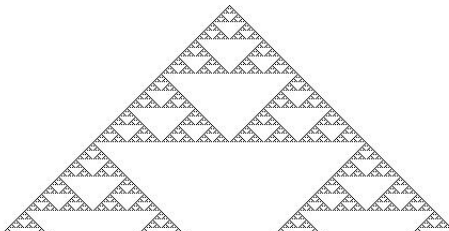
Daniel López Coto

UNIVERSIDAD DE SEVILLA



FACULTAD DE FÍSICA

Curso 2015-2016



1 Sistemas Complejos

¿Qué son?

Propiedades de los Sistemas Complejos

2 Autómatas Celulares (ACs)

¿Qué son?

Tipos de ACs

Tipos de reglas

Algoritmo Genético (AG)

3 Problema de la Concentración y la Computación Emergente

Introducción

Objetivo

Método

Resultados

Conclusiones

4 Bibliografía

Sección 1

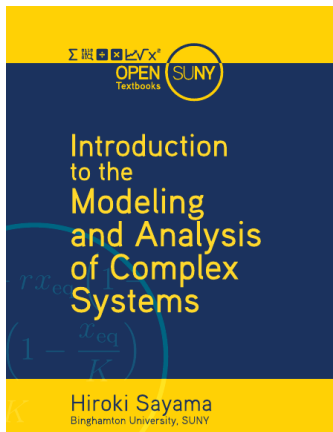
Sistemas Complejos

¿Qué son?

Sistemas Complejos

La comunidad científica no se pone de acuerdo.

Tomamos la definición dada por Hiroki Sayama en: *"Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems"*.



¿Qué son?

Sistemas Complejos

Diferenciamos entre sistema complicado y sistema complejo:

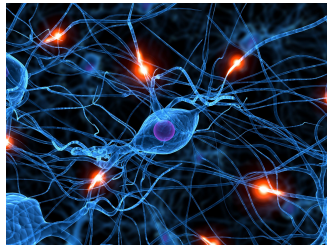
- **Sistema Complicado:** sistema formado por varias partes entrelazadas entre sí, que interactúan de forma secuencial-lineal. Un fallo en el sistema puede venir dado por el fallo de un elemento, o por no estar colocado en su lugar adecuado. Ej: motor de un coche, televisor.
- **Sistema Complejo:** sistema formado por una gran cantidad de partes que interactúan entre sí. Pueden generar **nuevas propiedades**, evolucionar mediante **auto-organización**, y el sistema está **descentralizado**. Ej: redes neuronales, hormiguero.

Ejemplos

Sistemas Complejos



(a) Hormigas



(b) Red Neuronal

Figura : Ejemplos de sistemas complejos

Propiedades

Sistemas Complejos

- 1 **Modelo basado en agentes:** herramienta computacional fundamental para el estudio de sistemas complejos.
 - **Agente:** unidad autónoma que toma decisiones por sí misma, basándose en la interacción local con los agentes de su entorno.
- 2 **Interacción (generalmente) no lineal:** el resultado de las interacciones de estos sistemas no viene dado por una combinación lineal de éstas.
 - **Linealidad y homogeneidad** matemática viene definida como:
$$f(x + \alpha y) = f(x) + \alpha f(y)$$
- 3 **Ausencia de control central:** no existe un mecanismo central que controle todo el sistema.
- 4 **Comportamiento emergente:** aparición de comportamientos en el sistema los cuales no pueden ser llevados a cabo por sus elementos individualmente. Consecuencia de la no linealidad.

Sección 2

Autómatas Celulares (ACs)

Clases de ACs

Autómatas Celulares

Según el comportamiento del AC distinguimos:

- **Clase I:** Todas las CIs, tras un transitorio, convergen a la **misma configuración final**.
- **Clase II:** Todas las CIs, tras un transitorio, convergen a un conjunto de estructuras estables o **periódicas**.
- **Clase III:** Algunas CIs convergen hacia una **configuración caótica**.
- **Clase IV:** Algunas CIs convergen a **estructuras complejas que se propagan en el espacio y en el tiempo**. Se incluyen todos aquellos que puedan realizar una computación compleja.

Tipos de reglas

Autómatas Celulares

- **Legales:** la vecindad nula siempre da un valor nulo ($000 \rightarrow 0$), y además son **simétricas** (la vecindad 110 debe dar lo mismo que 011).
- **Totalísticas:** la regla de evolución sólo depende de la **suma de los estados de los vecinos**. $S(t) = \sum_j^n s_j(t)$
- **Elementales:** son las reglas legales con $r = 1$ y $d = 1$

Algoritmos Genéticos

Autómatas Celulares

Definición:

El algoritmo genético es un **algoritmo matemático** que **transforma** un conjunto de objetos (**población**) en otro distinto (**población en la siguiente generación**) mediante la aplicación del **principio de supervivencia del más fuerte**.

Operadores Genéticos

Autómatas Celulares

- **Reproducción:** los mejores individuos son los seleccionados para dar las nuevas generaciones.
- **Mutación:** los genes pueden mutar, introduciendo nuevos individuos en el espacio de soluciones. Evitamos mínimos locales.
- **Recombinación sexual:** las mejores reglas se fragmentan y se recombinan, dando lugar a individuos mejor adaptados.

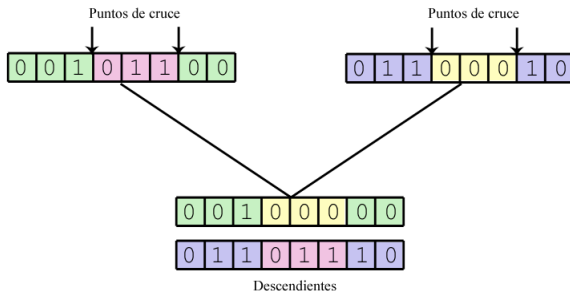


Figura : Ejemplo de AG

Sección 3

Problema de la Concentración y la Computación Emergente

Introducción

Concentración y C. Emergente

Computación Emergente: término empleado para describir la aparición del procesado global de la información en un sistema.

Ventajas del procesado de información descentralizado:

- **Velocidad:** diferentes regiones procesan la información, por lo que se **disminuye** la posibilidad de sufrir el efecto de “**cuello de botella**”.
- **Robustez:** si una unidad de procesado sufre daños, el **sistema no colapsa**, como ocurre con un sistema central de procesado.
- **Asignación de recursos equitativamente:** un sistema centralizado necesita gran parte de los recursos del sistema, mientras que uno **descentralizado** reparte los **recursos de forma equitativa**.

Objetivo

Concentración y C. Emergente

Estudiar los mecanismos por los cuales la evolución puede descubrir métodos de computación emergente y analizarlos. Para ello necesitamos:

- **ACs** como sistema ideal **descentralizado**.
- **Problema de la concentración** como tarea que necesita un **procesado global** de la información.
- **AGs** como **modelo de evolución** computacional idealizado.

Método

Concentración y C. Emergente

Condiciones:

- AC unidimensional binario ($k \in \{0, 1\}$) de 149 celdas, con $r = 3$.
- Condiciones de contorno periódicas.
- Reglas totalísticas.
- Población de 100 reglas (ϕ).
- AG con tres progenitores.

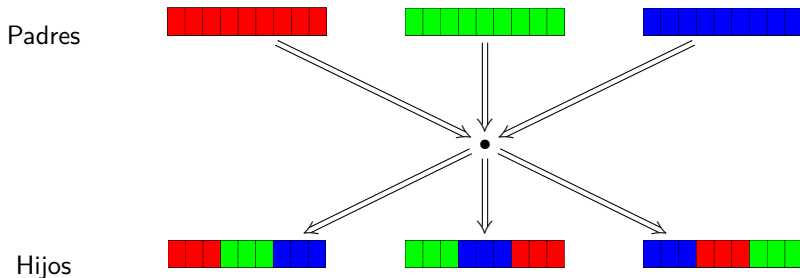


Figura : Esquema del cruce de las reglas.

Método

Concentración y C. Emergente

Tarea:

- 1 Analizar la densidad de 1s en el estado inicial.

$$\rho_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} s_j(t_0)$$

- 2 Analizar la densidad de 1s en el estado final.

$$\rho_f = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} s_j(t_f)$$

- 3 Asignarle un valor $fit(\phi_r)$ según:

$$fit^{(i)}(\phi_r) = \begin{cases} 1 & \text{si } \rho_0 > 0,5 \text{ y } \rho_f = 1 \text{ ó } \rho_0 < 0,5 \text{ y } \rho_f = 0 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

- 4 Calcular la función de ajuste de la regla.

$$F(\phi_r) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n fit^{(i)}(\phi_r)$$

Función de ajuste y performance

Resultados

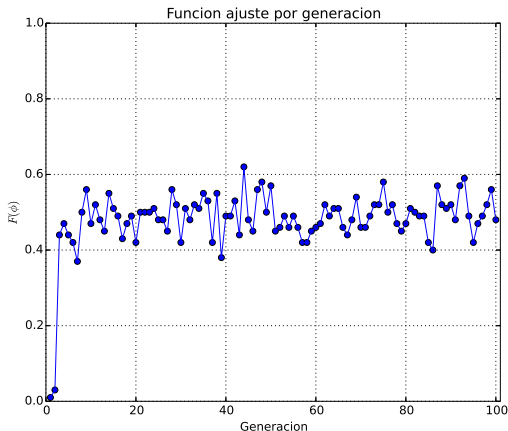


Figura : Tanda 1

Función de ajuste y performance

Resultados

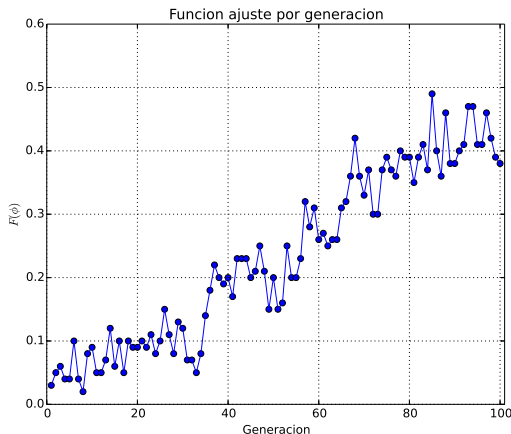


Figura : Tanda 2

Función de ajuste y performance

Resultados

Reglas	$\phi_{44}^{(1)}$	$\phi_{100}^{(1)}$	$\phi_{85}^{(2)}$	$\phi_{100}^{(2)}$
$P_{10^4}(\phi)$	50,43 %	44.86 %	35,86 %	39.95 %

Tabla : “Performances” para dos reglas de cada tanda de 100 generaciones. Las dos mejores valoradas por la función de ajuste $F(\phi)$ y las de la última generación para cada tanda. Los superíndices indican la tanda a la que pertenece, mientras que el subíndice indica la generación.

Diagramas espacio-temporales

Resultados

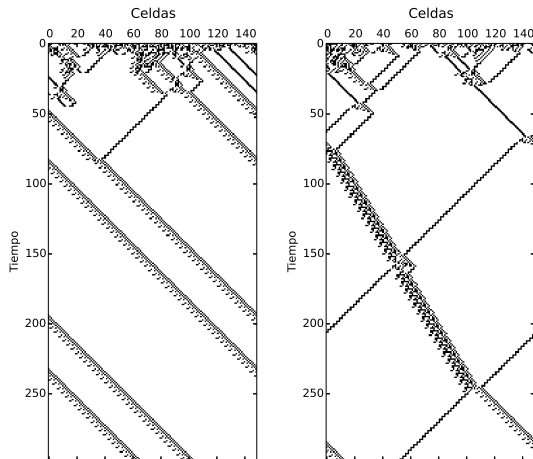


Figura : Tanda 1-Generación 1. Ambas con $\rho_0 < 0,5$

Diagramas espacio-temporales

Resultados

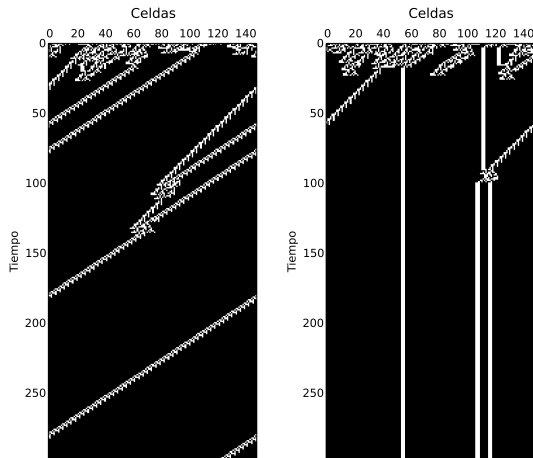


Figura : Tanda 2-Generación 1. Ambas con $\rho_0 > 0,5$

Diagramas espacio-temporales

Resultados

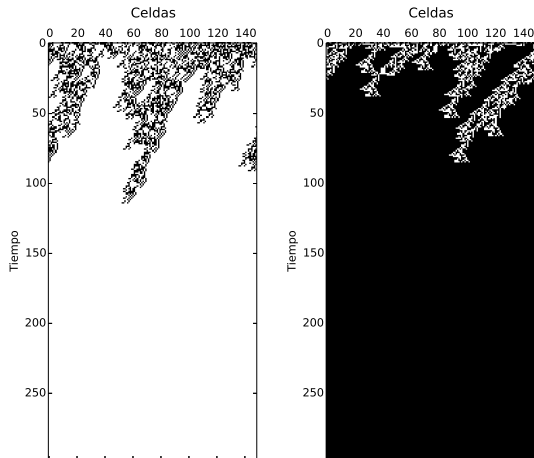


Figura : Generacion 100. Izq-T1, Dch-T2. $\rho_0 < 0,5$ y $\rho_0 > 0,5$ respectivamente.

Análisis

Resultados

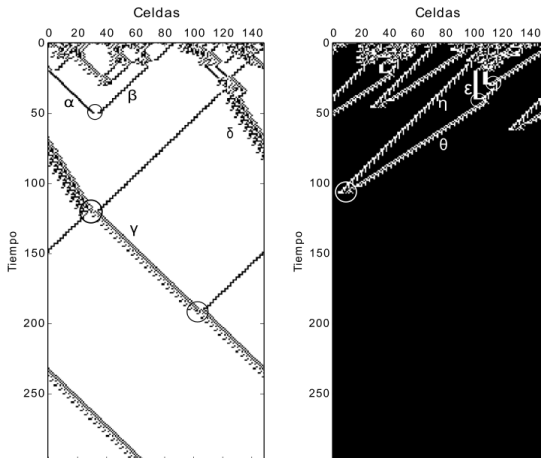


Figura : Interacción entre partículas mensajeras. Izq-T1, Dch-T2. $\rho_0 < 0,5$ y $\rho_0 > 0,5$ respectivamente.

Análisis

Resultados








	Tanda 1				Tanda 2		
Partículas	 α	 β	 γ	 δ	 ϵ	 η	 θ
Interacciones	$\gamma + \beta \rightarrow \gamma$				$\epsilon + \theta \rightarrow \eta$		
	$\beta + \delta \rightarrow \gamma + \beta$				$\epsilon + \eta \rightarrow \theta$		
	$\alpha + \beta \rightarrow \emptyset$				$\eta + \theta \rightarrow \emptyset$		

Tabla : Tabla sobre el tipo de partículas mensajeras y sus interacciones. El símbolo \emptyset indica que las partículas se aniquilan al interactuar.

Análisis

Resultados

CA ($r = 3$)	Regla en hexadecimal	Símbolo	$P_{10^4}(\phi)$
White	28834f913e4f146211592eed05dcd43a	ϕ_W	0.504
Black	d575bc35c51f130ba66ade17c09fb89b	ϕ_B	0.400
Particle (M&C)	031001001fa00013331f9fff5975ffff	ϕ_{17083}	0.755
Particle (M&C)	0504058705000f77037755837bffb77f	ϕ_{100}	0.769
GKL	005f005f005f005f005fff5f005fff5f	ϕ_{GKL}	0.816

Tabla : Comparación de “performances” de las reglas obtenidas por nuestro algoritmo genético (ϕ_W y ϕ_B), con las obtenidas por Mitchell y Crutchfield (M&C) y con la GKL.

Conclusiones

Resultados

Resumimos:

- 1 Códigos originales realizados en *Python* por: tipado dinámico, sintaxis más simple y gran popularidad. Realizadas 200 simulaciones (100 por tanda), 20 min/simulación.
- 2 Hemos descubierto dos reglas que clasifican bien los dos posibles ρ_0 . Siendo $\phi_W \rightarrow \rho_0 < 0,5$ y $\phi_B \rightarrow \rho_0 > 0,5$.
- 3 Con el AG de tres progenitores y sólo dos experimentos hemos conseguido una calidad de reglas entorno al 40-50 %.
- 4 Aunque nuestras reglas no tienen la misma calidad que las de Crutchfield Y Mitchell, nuestro método apunta en buena dirección para obtener reglas de calidad.
- 5 Líneas futuras:
 - Aumentar el número de experimentos
 - Estudiar la propagación de la información mediante las partículas de la clase IV.
 - Mantener las CIs inalteradas en cada generación.

Sección 4

Bibliografía

Bibliografía



Bastien Chopard and Michel Droz. *Cellular Automata Modeling of Physical Systems*. Cambridge University Press (1998).



James P. Crutchfield, Melanie Mitchell. “*The Evolution of Emergent Computation*”. *Proceedings of the National Academy of Science USA*. 92:10742-10746 (1995).



Rajarshi Das, James P. Crutchfield, Melanie Mitchell, James E. Hanson.

“*Evolving Globally Synchronized Cellular Automata*”. *Proceedings of the Sixth International Conference on Genetic Algorithms*, p.336-343. San Francisco CA, Ed. Morgan Kaufmann (1995).



Chris Langton *Computation at the Edge of Chaos: Phase Transitions and Emergent Computation*. Physica D, v.42, p. 12-37 (1990).

Bibliografía



Norman H. Packard *Adaptation toward the edge of chaos*. In Dynamic Patterns in Complex Systems, p.293-301. World Scientific (1988).



Warren Weaver. *"Science and Complexity"*. Rockefeller Foundation, New York City. American Scientist, 36: 536 (1948).



Juan Ignacio Vázquez, Javier Oliver. *"Evolución de autómatas celulares utilizando algoritmos genéticos"*. Facultad de Ingeniería - ESIDE, Universidad de Deusto. 48007 Bilbao, Vizcaya-España (2008).



Hiroki Sayama. *"Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems"*. Binghamton University, SUNY (2015).



Stephen Wolfram. *Statistical Mechanics of Cellular Automata*. Reviews of Modern Physics, v.35, no.3, p.601-644 (1983).



Stephen Wolfram. *"A New Kind of Science"*. Wolfram Media (2002).

Bibliografía



Roberto Poli. *“A Note on the Difference Between Complicated and Complex Social Systems”*. Department of Sociology and Social Research, University of Trento; UNESCO Chair in Anticipatory Systems (2013).



Thomas Schelling. *“Dynamics Models of Segregation”*. Harvard University (1971).



Toffoli T and Margolus N. *“Cellular Automata Machines”*. The MIT Press Cambridge, Massachusetts (1987).