

Estudio de la regla Spiral

Verano de Investigación 2009

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Departamento de microcomputadoras

Rogelio Basurto Flores
&
Paulina Anaid León Hernández

1 Introducción

Andrew Adamatzky y Andrew Wensche basados en las reacciones Belousov-Zavotinsky diseñaron en el 2005 un autómata celular llamado *Beehive*. Dicho autómata presentaba partículas movibles, tanto gliders como glider-guns, mismas con las que se probó que era posible la implementación de computación mediante la construcción de compuertas lógicas; no obstante este avance, era necesario encontrar partículas estacionarias que facilitaran la computación, fue éste el motivante para seguir buscando dentro de la misma familia de reglas una que presentara glider-guns estáticos. De esta manera en el 2006 encontraron la regla Spiral [1]; esta regla presentaba gliders, glider-guns movibles y glider-guns estáticos.

La dinámica de la regla ha probado ser adecuada para implementar una lógica universal, y es por esta misma razón que es importante hacer un estudio más profundo sobre sus partículas y la interacción entre ellas, con el fin de encontrar reacciones que permitan implementar computación.

En el presente trabajo se mostrarán las partículas básicas encontradas por los autores de la regla, así como otras partículas y configuraciones más complejas y algunas otras interesantes. También, se plantearán las bases del estudio de la regla por medio del enfoque de vida artificial, mismo que ayudará a la comprensión del comportamiento general de la regla.

2 Sistemas complejos

Actualmente con los avances tecnologicos es posible estudiar su comportamiento de sistemas complejos a través de simulaciones computacionales, uno de los modelos más utilizados para llevar a cabo dichas simulaciones son los autómatas celulares.

Un sistema complejo está compuesto, en general, por un conjunto de elementos los cuales interactúan entre sí a través de funciones que representan las características más sobresalientes del sistema; sin embargo, no se puede estudiar cada parte del sistema por separado para poder comprender su comportamiento global, debido a que la interacción entre los miembros del sistema propicia el surgimiento de propiedades nuevas que no se pueden explicar a partir de los elementos aislados; estas propiedades son la *emergencia* y *auto-organización*.

Un autómata celular se define como el modelo de un *sistema complejo* que itera a través del tiempo, con una regla isotropica (que se aplica a cada elemento del sistema) de transición para el cambio de estados de las partículas individuales que lo componen, llamadas células, siendo el conjunto de estados que pueden tomar las células finito.

El uso de los automatas celulares para la simulacion de sistemas complejos se ha venido llevando a cabo cada vez con mas frecuencia debido a que este modelo presenta inherentemente algunas de las características principales de los sistemas complejos. Por otro lado, es un modelo abstracto el cual puede adaptarse a muchos problemas y circunstancias de estudio diferentes. Algunas de las características que poseen los sistemas complejos y estan presentes de manera inherente en los automatas celulares son:

La *emergencia* se refiere al proceso por el cual un sistema de elementos interactuando entre si adquiere cualitativamente nuevos patrones y estructuras que no pueden ser entendidos simplemente como la superposición de contribuciones individuales; es decir, la emergencia se da cuando la interacción de los elementos del sistema dará lugar a la creación de nuevos elementos o hará que el sistema tenga un comportamiento complejo.

La *auto-organización* por su parte, es un proceso en el que los patrones del nivel global de un sistema emerge solamente de la interacción entre los componentes de más bajo nivel del sistema; es decir, la auto-organización es cuando cada elemento del sistema al "efectuar" su función de transición de manera local, contribuye a la formación de patrones en el sistema global; y esto se dará sin intervención de influencias externas al sistema por lo tanto el patrón es una propiedad emergente del sistema mismo.

Le llamaremos *patron* al sentido de referirse a un argumento particular de objetos en el espacio, además de la estructura y organización en el tiempo.

Por otro lado la *vida artificial* intenta desarrollar un nuevo tipo de paradigma computacional basado en procesos naturales como una herramienta para explorar la dinámica de las interacciones entre los elementos de un sistema vivo.

La vida artificial comienza viendo un organismo como una población grande de máquinas simples y trabaja analíticamente hacia el interior construyendo reglas que gobiernan los elementos internos para que interactuen entre ellos; el mejor ejemplo de esto son los autómatas celulares.

3 La regla Spiral

Un autómata celular esta compuesto por la tupla:

- Q , es un conjunto finito de estados.
- d , un número entero positivo que representa la dimensión del autómata.
- e , es la configuración inicial de las células.
- $f : S^e \rightarrow S$, la función de transición.

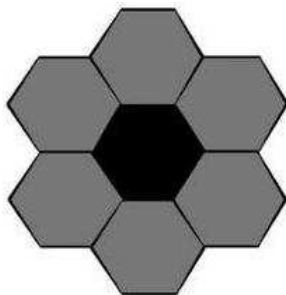


Figura 1: Vecindad hexagonal

En el particular caso de la regla Spiral se tiene un conjunto $Q = \{0, 1, 2\}$ representados mediante los colores blanco, rojo y negro respectivamente; la dimensión $d = 2$ y además, es importante mencionar que la forma de las células es hexagonal y debido a ello la vecindad utilizada será como la presentada en la figura 1, con 6 vecinos inmediatos; e representa la configuración inicial, es decir, los estados de las células para el tiempo $t = 0$; y finalmente, la función de transición estará dada mediante una matriz de transición, donde las columnas representan el número de células en estado 1 y las filas el número de células en estado 2, dicha matriz de transición es presentada en la tabla 1.

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	1	2	1	2	2	2	2
1	0	2	2	1	2	2	2	
2	0	0	2	1	2	2		
i 3	0	2	2	1	2			
4	0	0	2	1				
5	0	0	2					
6	0	0						
7	0							

Tabla 1: Matriz de evolución de la regla Spiral

4 Partículas en la regla Spiral

La regla Spiral es rica en partículas tanto simples como complejas. En la regla pueden encontrarse gliders, glider-guns tanto estáticos como dinámicos, así como eaters (still life). Andrew Adamatzky y Andrew Wensche en [1] muestran un compendio de partículas que presenta la regla Spiral, tanto básicas como algunas complejas, estos resultados son mostrados en la figura 3 y también pueden ser consultados en [4].

A continuación se detallará cada tipo de partícula dando las generalidades de cada una de ellas y algunas de sus particularidades.

4.1 Gliders

Un glider es una partícula que tiene la capacidad de moverse dentro del espacio de evoluciones en seis direcciones mostradas en la fig 2, la regla Spiral tiene 5 gliders básicos que pueden observarse en la figura 3 como g_1 a g_5 .

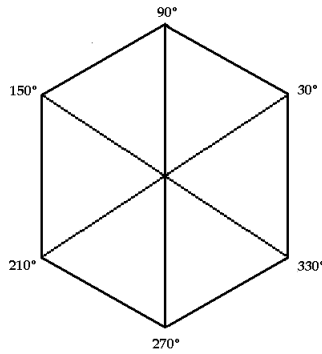


Figura 2: Dirección de los gliders en la regla Spiral.

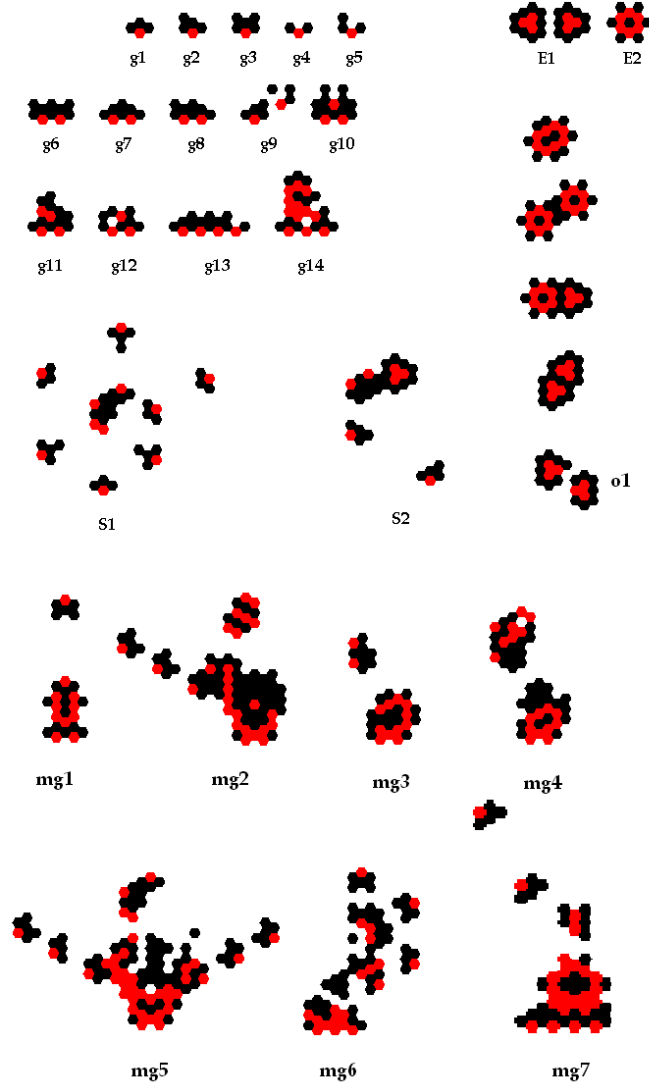


Figura 3: Partículas en la regla Spiral.

Estos gliders tienen la principal característica de emerger fácilmente a partir de evoluciones iniciales aleatorias, así como ser los tipos de gliders más abundantes dentro de la regla Spiral, aunque no son los únicos tipos de gliders existentes es importante hacer notar el hecho de que todos los gliders de la regla Spiral encontrados hasta ahora comparten algunas características como el período, desplazamiento o velocidad mismas características que pueden ser consultadas

en la tabla 3; los conceptos son explicados a continuación:

- *Peso*: se refiere a la cantidad de células que forman una partícula; de tener más de una fase (o forma) se toma la mayor como su peso.
- *Período*: es el número de evoluciones necesarias para que una partícula vuelva a tener su estructura inicial.
- *Desplazamiento*: se refiere al número de células que avanza el glider por período, se define su dirección en base al plano cartesiano, en la figura 2 se presentan las direcciones posibles en la regla Spiral.
- *Velocidad*: esta determinada como P/D , es decir, Período/Desplazamiento.

De los gliders básicos surgen otros a partir de mutaciones, estos son mostrados en la figura 3 los gliders g_6 a g_9 y g_{12} , y en la imagen 4 del g_{15} al g_{19} ; estos gliders son combinaciones entre gliders básicos conservando en algunos casos el desplazamiento y período, gliders g_6 a g_8 y en otros casos creando un glider totalmente diferente como los gliders g_9 , g_{12} en 3 y del g_{15} al g_{19} .

Además de estos gliders existe una gama de gliders de mayor peso y por ende más difíciles de generarse mediante configuraciones aleatorias, no obstante surgen ocasionalmente dentro de la propia dinámica de la regla. Este tipo de gliders son los mostrados en la imagen 4 y van del g_{20} y g_{50} y los gliders g_9 al g_{14} en la imagen 3. Este tipo de gliders son fácilmente mutables a través de colisiones con otros gliders, a esto se debe la gran variedad existente y las similitudes entre muchos de ellos así como la igualdad de peso y período en la mayoría de sus mutaciones.

4.2 Eaters

Los eaters son un tipo de partícula estática que tiene la propiedad de permanecer en el espacio de evoluciones indefinidamente (still life) y que además posee la capacidad de eliminar las partículas que colisionen con ella. En [1] se presentan dos tipos de gliders, estos son mostrados en la figura 3, E_1 y E_2 , así mismo son mostradas algunas de las uniones que soportan estas partículas entre ellas mismas. Dentro del estudio de la regla se encontró que a partir del eater E_1 era posible la expansión de tamaño del “núcleo”, de esta manera generar una partícula de mayor tamaño pero conservando sus mismas propiedades. Esta “familia” de eaters es mostrada en la figura 5.

La unión de eaters produce eaters del doble de tamaño, y en algunos casos su peso mínimo disminuye. Un caso interesante de las uniones entre eaters es la generación de osciladores, partículas que cambian su forma en cada evolución en ciclos infinitos. En la imagen 3 se puede apreciar un oscilador y el resto de ellos en la figura 6, estos son algunos osciladores que aparecen comúnmente en la regla a partir de configuraciones aleatorias, y en la figura 7 se muestran osciladores contruidos.

Partícula	Peso	Velocidad	Período	Desplazamiento
g_1	5	1	2	2
g_2	5	1	1	1
g_3	6	1	1	1
g_4	5	1	2	2
g_5	5	1	2	2
g_6	10	1	1	1
g_7	8	1	1	1
g_8	9	1	1	1
g_9	10	1	4	4
g_{10}	14	1	2	2
g_{11}	16	1	2	2
g_{12}	11	1	4	4
g_{13}	17	1	2	2
g_{14}	32	1	4	4
g_{15}	11	1	4	4
g_{16}	11	1	4	4
g_{17}	12	1	4	4
g_{18}	11	1	4	4
g_{19}	11	1	4	4
g_{20}	14	1	2	2
g_{21}	14	1	2	2
g_{22}	11	1	1	1
g_{23}	12	1	1	1
g_{24}	10	1	1	1
g_{25}	12	1	2	2
g_{26}	16	1	2	2
g_{27}	16	1	2	2
g_{28}	15	1	2	2
g_{29}	17	1	4	4
g_{30}	25	1	8	8
g_{31}	32	1	4	4
g_{32}	26	1	8	8
g_{33}	23	1	4	4
g_{34}	18	1	4	4
g_{35}	19	1	4	4
g_{36}	17	1	4	4
g_{37}	22	1	4	4
g_{38}	19	1	8	8
g_{39}	18	1	4	4
g_{40}	25	1	4	4
g_{41}	24	1	4	4
g_{42}	20	1	8	8
g_{43}	29	1	4	4
g_{44}	33	1	8	4
g_{45}	43	1	4	4
g_{46}	47	1	4	4
g_{47}	36	1	4	4
g_{48}	29	1	8	8
g_{49}	31	1	4	4
g_{50}	31	1	4	8

Tabla 2: Características de gliders.

References

- [1] Andrew Adamatzky and Andrew Wuensche (2005), “On spiral glider-guns in hexagonal cellular automata: activator-inhibitor paradigm”.
- [2] Andrew Adamatzky, Andrew Wuensche and B. De Lacy Costello (2005), “Glider-based computing in reaction diffusion hexagonal cellular automata”.

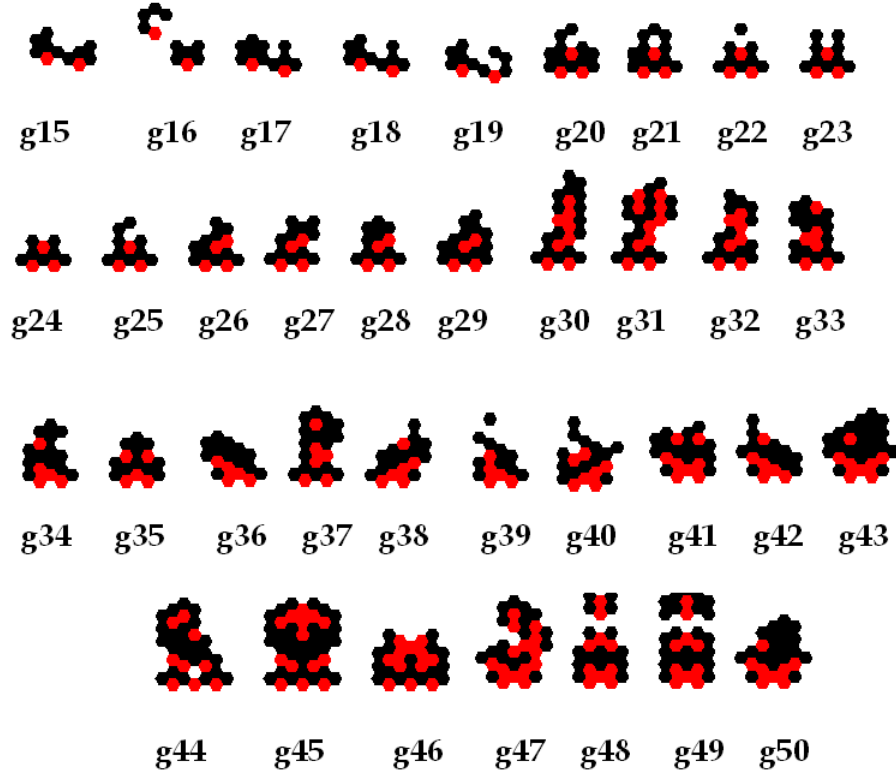


Figura 4: Gliders en la regla Spiral

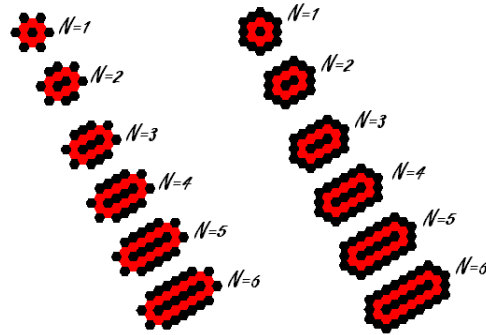


Figura 5: Familia de eaters E_2

ta”, *Journal Chaos, Solitons & Fractals*.

- [3] Andrew Adamatzky and Andrew Wuensche (2006), “Computing in Spiral Rule Reaction-Diffusion Hexagonal Cellular Automaton,” *Complex Sys-*

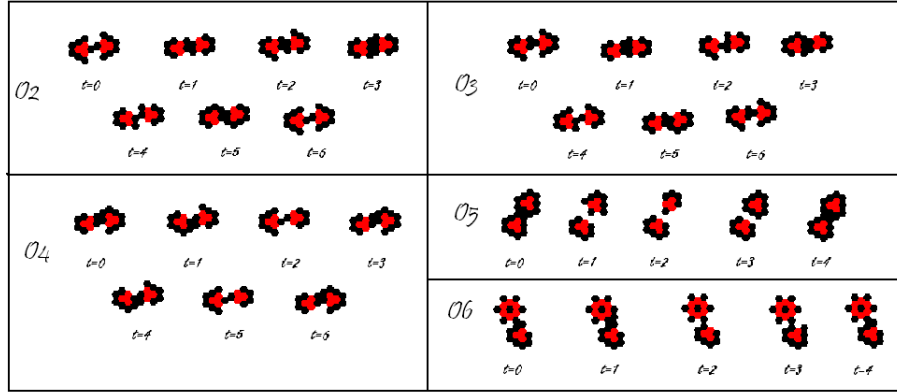


Figura 6: Osciladores básicos

Oscilador	Peso	Período
O_1	23	8
O_2	20	6
O_3	20	6
O_4	20	6
O_5	24	4
O_6	24	4
O_7	63	6
O_8	61	3
O_9	130	2
O_{10}	36	3
O_{11}	63	2
O_{12}	66	2

Tabla 3: Características de gliders.

tems **16 (4)**.

- [4] Andrew Wuensche, *Discrete Dynamics Lab (DDLab)*, www.ddlab.org, 2009, also follow the links “Spiral rule” and “self-reproduction”.
- [5] Andrew Ilachinski (2001), *Cellular Automata: A Discrete Universe*, World Scientific Press.

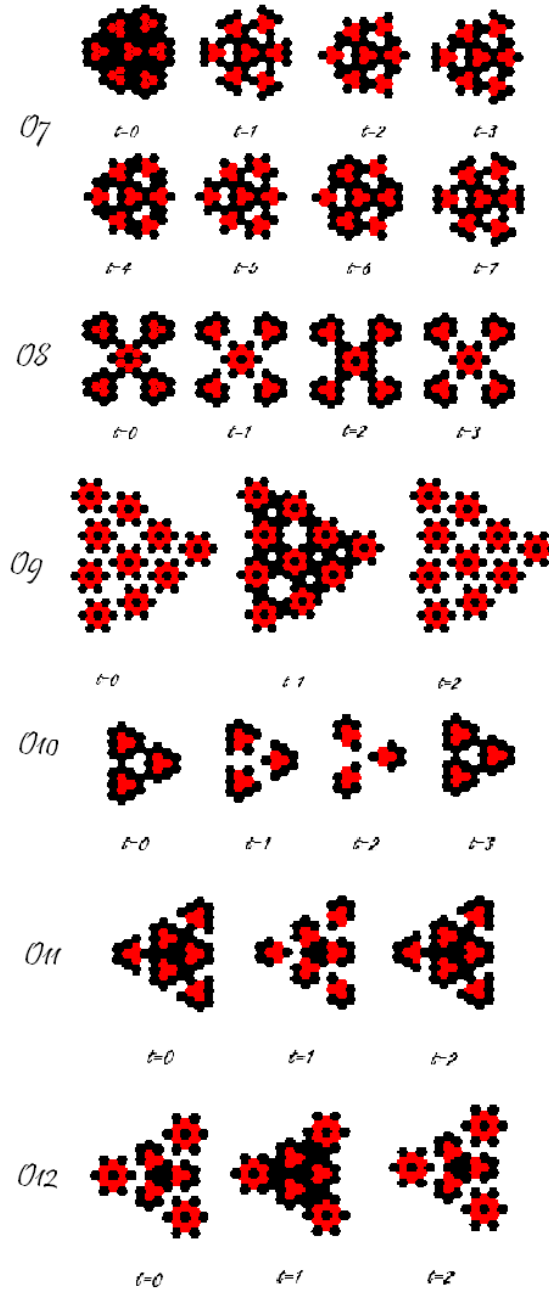


Figura 7: Osciladores construidos