PERSPECTIVAS DE LA APLICACIÓN DE AUTÓMATAS CELULARES AL ESTUDIO DE LA DINÁMICA EN CONGLOMERADOS HUMANOS.

Lic. José Ignacio Abreu Salas[1], Ing. Pedro Aniel Sánchez Mirabal[1], Ing. Katia Vila Rodríguez[1]

1. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", Cuba .Km. 3 Carretera Varadero

CD de Monografías 2008
(c) 2008, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"

Resumen.

Los autómatas celulares constituyen ejemplos de sistemas dinámicos capaces de exhibir comportamiento altamente complejo, basado en las interacciones de pequeñas unidades gobernadas por leyes simples. Por esta razón han sido ampliamente utilizados para simular sistemas físicos reales así como otras estructuras dinámicas de distinta naturaleza. En el trabajo se exponen los elementos básicos de la teoría de los autómatas celulares así como un esbozo de su aplicación al estudio del efecto de fenómenos perturbadores en conglomerados de personas.

Palabras claves*: Autómatas Celulares; Conglomerados Humanos.*

Introducción.

Desde su formalización por Von Newman en los años 40 los autómatas celulares han constituido un área de investigación extensamente abordada y que sin embargo, continúa siendo tema de numerosas investigaciones teóricas como evidencian recientes publicaciones (Wuensche, 2006) (Dunne y Mingarelli, 2006) y conferencias internacionales dedicadas al respecto. Este interés se explica entre otras razones debido a que teóricamente constituyen un modelo de computación universal (Jones, 2008) y porque pueden aproximar espacios continuos empleando un modelo discreto fácil de interpretar e implementar, exhibiendo un comportamiento complejo e impredecible resultado de interacciones deterministas locales. Por otra parte, la literatura recoge un significativo grupo de trabajos donde se estudia la aplicación de los autómatas celulares a diferentes problemáticas como la predicción de la cantidad futura de usuarios en Internet (Zhang *et al*., 2005), la modelación de microestructuras en la solidificación de aleaciones (Li *et al*., 2006) entre otros.

2. Definiciones.

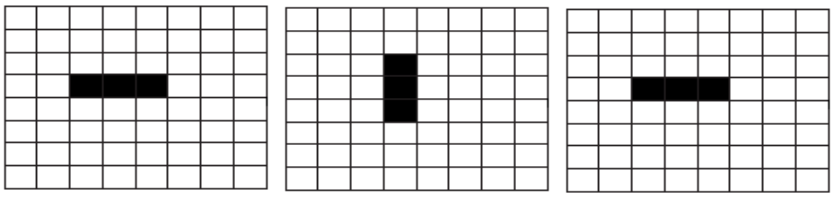
Antes de presentar alguna definición de autómata celular se examinará un sencillo ejemplo sobre el que se generalizarán el resto de los conceptos. Una variante del llamado **juego de la vida** – *game of life* – desarrollado por John Conway consiste en un universo formado por un tablero de casillas cuadradas de modo que cada una tiene 8 vecinos. Estas pueden encontrarse en dos posibles estados **activas** o **inactivas**. A lo largo de la evolución del sistema, partiendo de una configuración inicial, las celdas cambian de estado de acuerdo a las siguientes reglas:

- una celda inactiva rodeada de 3 celdas activas pasa a ser activa.

- una celda activa rodeada de 2 o 3 activas permanece activa.

- en cualquier otro caso la celda pasa a inactiva o permanece en este estado.

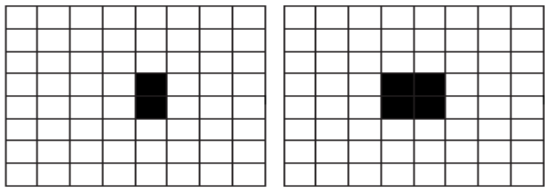
La Fig 2 ilustra 2 generaciones a partir de la configuración inicial mostrada, de la que dependerá el resto de la evolución del sistema.



A *B* *C*

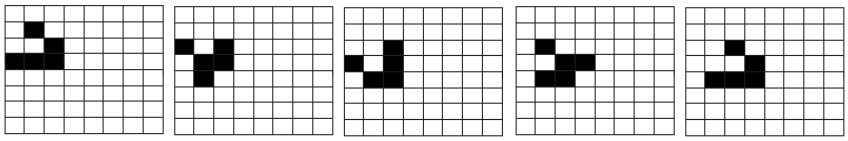
Fig. 1: En A se muestra la configuración inicial, en B-C la primera y segunda generaciones respectivamente.

Resta señalar que en este caso, restringiendo el universo a las 64 casillas mostradas, se tiene un total de 2^{64} posibles configuraciones iniciales, expresando comportamientos tan variados como los ilustrados en las Fig. 2 y 3.



A *B*

Fig. 2: En A una configuración inicial donde inmediatamente todas las celdas quedan inactivas, por el contrario en B estas permanecen inmutables durante toda la evolución.



A *B* *C* *D* *E*

Fig 3: En A se muestra la configuración inicial, en B-E configuraciones de la primera a la quinta generación.

En la Fig. 3 puede notarse como la configuración obtenida en la quinta generación es muy similar a la inicial salvo que se ha desplazado una celda hacia abajo y a la derecha. Aplicando nuevamente las reglas podrá continuarse este movimiento. Esta configuración es conocida como *glider* que en conjunto con los llamados *glider gun*, configuraciones capaces de emitir flujos de *gliders*, constituyen ejemplos de como el sistema es capaz producir nuevas entidades. Por otra parte, emplazando los *glider gu*n en las posiciones adecuadas puede efectuarse cualquier operación lógica (Fyfe, 1996).

El juego de la vida ilustra además tres propiedades fundamentales de los autómatas celulares (Rennard, 2000):

1-Paralelismo: Cada una de las celdas evolucionan de manera simultánea e independiente dentro de una generación.

2- Localidad: El nuevo estado de la celda depende únicamente de su estado propio y el de sus vecinos.

3- Homogeneidad: Las leyes son universales en todo el sistema, es decir, cada celda tiene el mismo conjunto posible de estados y efectúa las transiciones de acuerdo a las mismas reglas.

Estas características hacen de los autómatas celulares universos donde el espacio y el tiempo son discretos; regulados por leyes físicas locales que sin embargo determinan su comportamiento o estado global, principios reflejados en la siguiente definición presentada en (Yacoubi y Gourbiere, 2006).

Definición 1.

Se define un **autómata celular** como una cuádrupla $A=(L,S,N,f)$ donde:

- L reticulo regular consistente en un superficie periódica de un espacio d-dimensional.
- S conjunto de estados discretos.
- N vecindad de tamaño n definida por $\begin{array}{l} N:L\rightarrow L^n \\ c\rightarrow N(c)=\{c_1,c_2,\ldots,c_n\} \end{array}$
- f función que especifica la regla de transición definidas por:

$\begin{array}{l} f:S^n\rightarrow S \\ s_t(N(c))\rightarrow s_{t+1}(c) \end{array}$ donde $s_{t+1}(c)$ es el estado de la celda c en el instante $t+1$.

Cada uno de los elementos que componen la definición así como la configuración inicial deciden la evolución del autómata o lo que es lo mismo, determinan su comportamiento y capacidad computacional. Por esta razón múltiples estudios han estado encaminados a caracterizar la influencia de los diferentes parámetros, como la vecindad (Nishio, 2006), y encontrar reglas generales para el comportamiento. En este sentido uno de los tipos de autómatas más estudiados son los unidimensionales. A diferencia del juego de la vida, las celdas están organizadas en un arreglo de una dimensión, teniendo cada una dos vecinos inmediatos, aunque es usual que las reglas de transición involucren algunas casillas más allá de estos. La Fig. 4 ilustra un sencillo ejemplo de este tipo de autómata, mostrando un ciclo de evolución acorde a las reglas mostradas en la Tabla 1.

Vecindad S^n	000	001	010	011	100	101	110	111
Resultado S	0	0	0	1	0	1	1	1

Tabla 1.

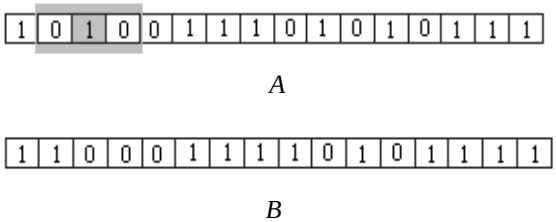


Fig. 4: A muestra la configuración inicial de un autómata unidimensional. El recuadro sombreado indica los vecinos de la celda resaltada. En B la configuración obtenida luego de un ciclo de evolución.

Aquí las leyes locales están determinadas por una especificación exhaustiva de cada posible configuración de una casilla, sus vecinas y el estado al que conduce la transición. Para una vecindad de tres casillas, se tienen 8 posibles estados. Interpretándolos como códigos binarios, en la primera fila de la Tabla 1 se muestran ordenados ascendentemente. mientras en la segunda fila, se observan los estados resultantes, que según esta organización determinan un código de identificación para la regla, 23 en este caso.

Como se ha mencionado, son varios los autores que han estudiado el comportamiento de los autómatas celulares, tratando de establecer reglas generales que lo caractericen. A este respecto, los trabajos de Wolfram (Wolfram, 1984) sobre los autómatas unidimensionales constituyen uno los más influyentes. Este propone clasificarlos en 4 clases de acuerdo a su comportamiento:

- Clase 1: El sistema evoluciona a un estado homogéneo, es decir se alcanza una configuración que permanece constante. Fig. 5.

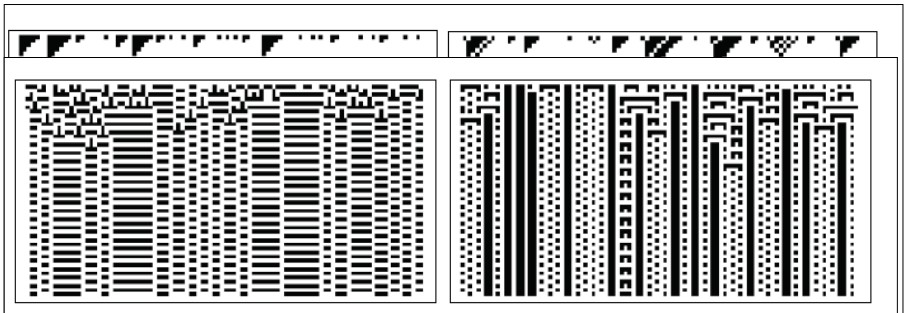


Fig. 6: Evolución de dos autómatas de clase 2 según las reglas 37 y 73, mostradas en A y B respectivamente.

- Clase 2: La evolución conduce a estructuras simples o periódicas. Fig. 6.

- Clase 3: La evolución lleva a estados caóticos, haciendo las predicciones estado-tiempo

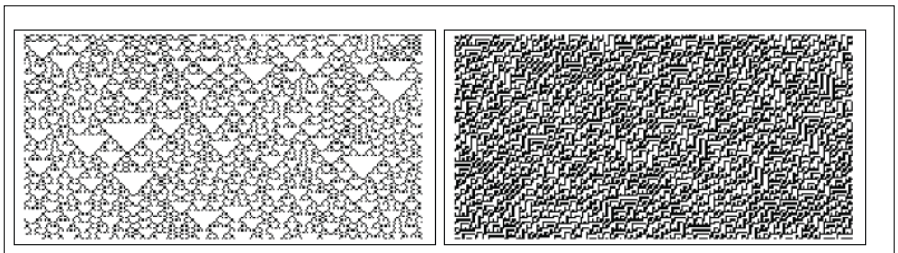


Fig. 7: Evolución de dos autómatas de clase 3 según las reglas 18 y 45, mostradas en A y B respectivamente.

prácticamente imposibles. Fig.7.

- Clase 4: La evolución conduce a estructuras globalmente complejas. Fig.8.

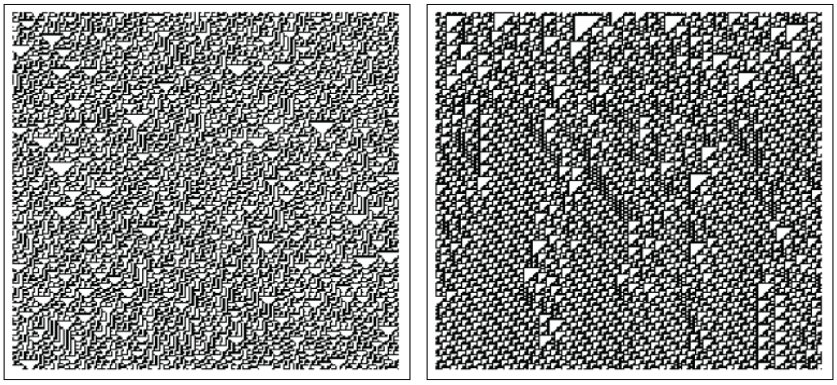


Fig.8: Evolución de dos autómatas de clase 4 según las reglas 30 y 110, mostradas en A y B respectivamente.

Sobre esta clasificación es preciso acotar que se realizó observando un grupo de 32 autómatas, la cantidad de estos es potencialmente infinita, de manera que es puramente fenomenológica, no ofreciendo guías para la construcción de reglas que exhiban un comportamiento determinado. En esta categorización, los autómatas en la clase 4 constituyen el grupo más interesante debido a que son los que reúnen las condiciones para mostrar la propiedad de computación universal, que depende de la capacidad para intercambiar información entre las celdas. Las clases 1 y 2 se caracterizan por celdas demasiado interdependientes como para permitir un procesamiento útil, mientras que en la clase 3 esta dependencia es extremadamente débil (Fyfe, 1996). Sin embargo, la mayoría -30- de los autómatas estudiados por Wolfram caen en las primeras tres categorías.

Otro enfoque encaminado a establecer reglas generales para el comportamiento de los autómatas es el descrito por Langton (Langton, 1986) quien propone una clasificación basada en un parámetro general , que no es más que la probabilidad que una configuración específica, dentro de todas las posibles para una vecindad, produzca el estado activo. O sea:

$$\lambda = 1 - \left(\frac{NQT}{NTT}\right)$$

Donde NTQ es el número de transiciones hacia el estado 0 y NTT la cantidad total de transiciones. Este esquema, a diferencia del propuesto por Wolfram, permite construir reglas para un determinado . Respecto al comportamiento que presentan los autómatas según los distintos se tiene que para valores pequeños las celdas tienden a quedar inactivas rápidamente. Cuando es cercano a 0.2 aparecen estructuras cíclicas o persistentes, mientras que alrededor de 0.3 aparece un comportamiento complejo e

impredecible. Finalmente, para valores cercanos a 0.5 inducen una conducta caótica.

Estos no son los únicos esquemas de clasificación para el comportamiento de los autómatas celulares, en (Li *et al.*, 1990) puede encontrarse otro basado en 6 clases. De igual forma, la definición y ejemplos presentados no agotan el amplio espectro de adaptaciones y nuevas conceptualizaciones acerca de los autómatas celulares, como los autómatas celulares difusos descritos en (Dunne y Mingarelli, 2006).

3. Estudio del efecto de fenómenos perturbadores en conglomerados de personas.

Diversos escenarios de la vida social traen consigo la aparición de concentraciones de personas. Este conglomerado constituye un sistema dinámico cuyo comportamiento global resulta de la interacción de cada una de sus partes constitutivas actuando de acuerdo a las condiciones de una zona de proximidad concreta. Estudiar la dinámica producida por las interacciones entre individuos reviste particular interés sobre todo en contextos donde diversos factores perturbadores provocan reacciones que puedan comprometer la integridad psíquica o física de los individuos. Tal es el caso de un incendio en un teatro, la aparición de las fuerzas represivas en una manifestación pública antibelicista o la llegada de ayuda humanitaria a una zona afectada por un desastre. Contar con modelos que describan adecuadamente estos sistemas ayudaría a tomar medidas que contrarresten el impacto negativo de estos fenómenos. Esto se traduce en la colocación óptima de las salidas de emergencia en las obras arquitectónicas, la distribución adecuada de los puestos de salud y servicios higiénicos en actos públicos entre otras aplicaciones.

Por otra parte, diversas investigaciones corroboran la capacidad de los autómatas celulares para simular sistemas dinámicos altamente complejos (Zhang, 2005)(Chopard y Lagrava, 2006). Concretamente en el caso de los conglomerados de personas, los autómatas celulares pueden constituir una herramienta para estudiar los distintos flujos de movimiento producidos al introducir estímulos perturbadores localizados en diferentes regiones del universo. El siguiente ejemplo ofrece un modelo bastante simplificado de esta aplicación.

Considérese un retículo similar al utilizado en el juego de la vida donde cada casilla puede estar en 3 posibles estados (vacía, ocupada por una persona o afectada por fenómeno perturbador.). Las casillas ocupadas por personas tienen un atributo indicando la dirección hacia donde se mueve la persona.

Se definen un grupo de reglas para describir el avance del efecto perturbador, esta regla puede incorporar algún factor estocástico, por ejemplo, la probabilidad de una casilla de pasar a afectada puede estar dada por la fracción entre la cantidad de celdas vecinas afectadas y la cantidad total de vecinos.

Se establecen otro grupo de reglas para describir el movimiento de las personas. Una de estas podría ser, si en una casilla hay una persona se calcula el atributo dirección de movimiento como la dirección mayoritaria en las casillas vecinas ocupadas por personas o la dirección opuesta a las casillas vecinas afectadas por el fenómeno. En caso de haber una celda vacía en esta dirección, la persona se mueve hacia allí.

Como configuración inicial se colocarían personas en determinadas localizaciones y varias casillas afectadas por la perturbación.

Como se explicó, el sencillo modelo expuesto dista de ser suficiente para describir las complejas reglas que gobiernan un sistema de este tipo. Sería necesario incluir parámetros adicionales y reglas de transición mas ricas de acuerdo a los elementos que se deseen tener en cuenta en la modelación.

Bibliografía.

Chopard, B., Lagrava, D., 2006. *A Cellular Automata Model for Species Competition and Evolution.* 7th International Conference on Cellular Automata for Research and Industry, ACRI 2006.

Coppin, B., 2004. *Artificial Intelligence Illuminated.* Jones and Bartlett Publishers.

Dunne, D., Mingarelli, A., 2006. *On the Dynamics of Some Exceptional Fuzzy Cellular Automata.* 7th International Conference on Cellular Automata for Research and Industry, ACRI 2006.

Fyfe, C., 1996. *Artificial Neural Networks*. Department of Computing and Information Systems,University of Paisley.

Jones, M., 2008 . *Artificial Intelligence, A Systems Approach.* Infinity Science Press, Chap 12.

Langton, C., 1986. *Studying Artificial Life with Cellular Automata.* Physica D, Vol 2, pp. 120-149.

Li, D., Li, R., Zhang, P., 2006. *A Cellular Automaton Technique for Modeling Solidification Microstructure in Multi-Component Alloys.* First International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences IMSCCS 06, Vol 2, pp. 800-806.

Li, W., Packard, N., Langton H., 1990. *Transition Phenomena in Cellular Automata Rule Space.* Computer & Graphics, Vol 13, pp. 531-537.

Nishio, H., 2006. *How Does the Neighborhood Affect the Global Behavior of Cellular Automata.* First International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences IMSCCS 06, Vol 2, pp. 122-130.

Rennard, J., 2000. *Introduction to cellular automata.* [on-line], descargado: 30-oct-2008. Tesis Doctoral, disponible en <http://www.rennard.org/alife/english/acgb.pdf >.

Wolfram, S., 1984. *Universality and Complexity in Cellular Automata.* [on-line], descargado: 30-oct-2008. Physica D, disponible en <http://www.stephenwolfram.com/publications/articles/ca/84-universality/index.html>.

Wuensche, A., 2006. *On Spiral Glider-Guns in Hexagonal Cellular Automata: Activator-Inhibitor Paradigm*. 7th International Conference on Cellular Automata for Research and Industry, ACRI 2006.

Yacoubi, S., Gourbiere, S., 2006. *A Cellular Automata Model for Adaptative Sympatric Speciation.* First International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences IMSCCS 06, Vol 2, pp. 288-297.

Zhang, T., Xuan, H., Gao, B., 2005. *Modeling Difussion on Innovation with Cellular Automata*. Proceedings of International Conference on Services Systems and Services Management ICSSSM 05, Vol 2, pp. 976-980.