

Simulación del Crecimiento de una Ciudad Basado en el Juego de la Vida de Conway

Jhoan Andres Diaz Castaño

Resumen—Este artículo presenta una simulación del crecimiento urbano utilizando autómatas celulares basados en el Juego de la Vida de Conway. Se exploran diferentes reglas y tipos de células para modelar la evolución espacial de una ciudad. La implementación se basa en modelos de segregación dinámica y modelos basados en agentes aplicados a sistemas geográficos. Los resultados muestran cómo las zonas residenciales, comerciales e industriales interactúan y se expanden.

Index Terms—Juego de la Vida de Conway, autómatas celulares, crecimiento urbano, modelos basados en agentes, segregación.

I. INTRODUCCIÓN

El Juego de la Vida de Conway es un autómata celular famoso por sus reglas simples pero emergentes. Este proyecto adapta esas reglas para simular el crecimiento de una ciudad, integrando conceptos de segregación dinámica y modelos basados en agentes aplicados a sistemas geográficos.

II. MARCO TEÓRICO

II-A. Juego de la vida de Conway

El Juego de la Vida es un autómata celular donde células en una cuadrícula pueden estar vivas o muertas, evolucionando según reglas específicas:

- Una célula viva con menos de dos vecinos vivos muere (subpoblación).
- Una célula viva con dos o tres vecinos vivos sobrevive.
- Una célula viva con más de tres vecinos vivos muere (sobrepoblación).
- Una célula muerta con exactamente tres vecinos vivos revive.

II-B. Modelos Dinámicos de Segregación

Este modelo plantea la investigación como las preferencias individuales pueden llevar a patrones de segregación residencial. Utilizando modelos simples de vecinos en una cuadrícula en la cual las decisiones de mudanza se basan en un umbral de tolerancia a la diversidad. La investigación se ejecuta mediante la creación de modelos de simulación para observar los patrones emergentes a partir de reglas de comportamiento individual. [1]

II-C. Modelos Basados en Agentes de Sistemas Geográficos

Este modelo explora el uso de autómatas celulares, como herramientas para modelar y comprender la dinámica espacial en entornos urbanos. Son sistemas dinámicos discretos que consisten en una cuadrícula de células, cada una de las cuales puede estar en uno de varios estados. El estado de cada célula

en un momento dado se determina por un conjunto de reglas de transición que consideran los estados de las células vecinas.

Las reglas de transición determinan cómo cambia el estado de estas células con el tiempo, en función de su vecindad inmediata. Este enfoque permite simular y analizar patrones emergentes de crecimiento urbano y uso del suelo a partir de decisiones locales. [2]

III. METODOLOGÍA

III-A. Descripción general

Se utilizó como base el marco del Juego de la vida de Conway, adaptado para simular el crecimiento urbano. Esta adaptación incluye la incorporación de diferentes células residenciales (clase baja, clase media, clase alta) y recursos (industrial, comercial, escolar, zona peligrosa) y reglas específicas para cada tipo de célula.

III-B. Tipos de células

- **Clase baja:** Representa áreas donde residen individuos de bajos ingresos. Estas células tienen facilidad para conseguir trabajo en áreas industriales cercanas y residir cerca a zonas peligrosas.
- **Clase media:** Representa áreas donde residen individuos de ingresos medios. Estas células tienen facilidad para conseguir trabajo en áreas industriales cercanas y están relacionadas con áreas y comerciales.
- **Clase alta:** Representa áreas donde residen individuos de altos ingresos. Estas células tienen una tendencia a vivir cerca de áreas comerciales por comodidad y generan puntos comerciales.
- **Zona industrial:** Representa áreas industriales. Estas células están relacionadas con las clases media y baja que residen cerca de los puntos de trabajo.
- **Zona peligrosa:** Representa áreas peligrosas en la ciudad. Estas células están relacionadas con la clase baja, representando la segregación y baja tolerancia recibida por parte de la sociedad.
- **Zona escolar:** Representa áreas escolares que son funcionales para todas las clases sociales.
- **Zona comercial:** Representa áreas comerciales. Estas áreas son atractivas para la clase alta, concurridas por la clase media y son puntos creados o frecuentados por la clase alta.
- **Célula muerta:** Representa áreas vacías de la sociedad a espera de sufrir cambios de acuerdo con sus vecinos circundantes.

III-C. Reglas de transición implementadas

■ Reglas para la clase baja

• Nacimiento:

- Nacerán en caso de tener entre sus vecinos a 1 o 2 células “Zona Industrial” y tener más vecinos de su misma clase que “Clase Media”.
- Nacerán si están ubicados en la periferia del plano y tienen mayor cantidad de vecinos de “Clase baja” y “Zona Peligrosa”.

• Mutación:

- Mutará a “Clase Media” en caso de tener más vecinos de “Clase Media” y “Zona Industrial” que de su misma clase.

• Muerte:

- Morirá en caso de no tener vecinos de su misma clase.

■ Reglas para la Clase Media

• Nacimiento:

- Nacerán en caso de tener entre sus vecinos a 2 o 3 células “Industrial” y tener más vecinos de su misma clase que de “Clase Baja”.
- Nacerán si están ubicados en la periferia del plano y tienen mayor cantidad de vecinos “Clase Media” que de “Clase Baja”, y si hay más vecinos de “Industrial” que de “Zona Peligrosa”.

• Mutación:

- Mutará a “Clase Baja” en caso de tener más vecinos de “Clase Baja” que “Industrial” y de su misma clase.

• Muerte:

- Morirá en caso de no tener vecinos de su misma clase.

■ Reglas para la Clase Alta

• Nacimiento:

- Nacerán en caso de tener al menos 1 vecino “Comercial”, entre 1 y 2 vecinos de “Clase Alta”, y no tener vecinos de “Zona Peligrosa” ni de “Clase Baja”.
- Nacerán si están ubicados en la periferia del plano y si no hay vecinos de “Clase Media” ni de “Clase Baja” ni de “Zona Peligrosa”.

• Mutación:

- Mutará a “Clase Media” en caso de tener más vecinos de “Clase Media” que “Comercial” y de su misma clase.

• Muerte:

- Morirá en caso de tener vecinos de “Clase Baja” o “Zona Peligrosa”.

■ Reglas para la Zona Industrial

• Nacimiento:

- Nacerán en caso de tener al menos 1 vecino de “Clase Media” o “Clase Baja” y más vecinos de su misma clase que de “Escuela”.

• Muerte:

- Morirá en caso de tener menos vecinos de “Clase Media” y “Clase Baja” que de su misma clase.

■ Reglas para la Zona Peligrosa

• Nacimiento:

- Nacerán en caso de tener más vecinos de “Clase Baja” que de “Clase Media” y al menos 3 vecinos de “Clase Baja” y menos de 2 vecinos de “Zona Peligrosa”.

• Muerte:

- Morirá en caso de tener al menos 2 vecinos de “Zona Peligrosa” o menos vecinos de “Clase Baja” que de “Zona Peligrosa”.

■ Reglas para la Zona escolar

• Nacimiento:

- Nacerán en caso de tener al menos 3 vecinos de cualquier clase (“Clase Baja”, “Clase Media”, “Clase Alta”) y más vecinos de su misma clase que de “Industrial”.

• Muerte:

- Morirá en caso de tener vecinos de “Zona Peligrosa” mayor o igual que vecinos de su misma clase.

■ Reglas para la Zona Comercial

• Nacimiento:

- Nacerán en caso de tener al menos 2 vecinos de “Clase Alta”.
- Nacerán si tienen al menos 2 vecinos de “Clase Alta” y “Clase Media”, y más vecinos de su misma clase que de “Industrial”.

• Muerte:

- Morirá en caso de tener al menos 3 vecinos de “Clase Baja” o al menos 2 vecinos de “Zona Peligrosa”, o si tiene menos de 2 vecinos de “Clase Alta” y menos de 1 vecino de “Clase Media”.

III-D. Implementación del algoritmo

■ **Inicialización:** La cuadrícula bidimensional se inicializa con una configuración de tamaño predefinida y una configuración de células que puede ser aleatoria o predefinida según el escenario de estudio que se desee.

■ **Iteración:** En cada paso (generación) de la simulación, se aplican las reglas de transición a cada célula de la cuadrícula:

- Se cuenta el número de vecinos disponibles y el número de vecinos de cada tipo.
- Se actualiza el estado de cada célula de acuerdo con sus vecinos.

■ **Actualización:** La cuadrícula se actualiza simultáneamente para reflejar los nuevos estados de cada célula.

■ **Simulación continua:** El proceso se repite durante un número de iteraciones indefinido hasta que se decida detener la simulación.

IV. RESULTADOS

La simulación se llevó a cabo utilizando diferentes configuraciones iniciales y se observó cómo evolucionaban los distintos tipos de células en el tablero. A continuación se describen los resultados observados en el comportamiento de las células y su interacción.

IV-A. Distribución Espacial de las Células

■ Clase Alta y Zona Comercial

- Las células de clase alta y comercial tienden a ubicarse en la periferia del tablero. Este comportamiento se debe a las reglas de nacimiento que favorecen su aparición en estas zonas y alejada de células de clase baja y zonas peligrosas.

A medida que la simulación progresa, estas células tienden a expandirse lateralmente a lo largo de los bordes, creando cinturones de alto estatus económico.

■ Clase Media y Zona Industrial

- Las células de clase media y zonas industriales tienden a ocupar el centro del tablero y formar grandes áreas agrupadas. La presencia de zonas industriales cerca de las células de clase media y baja contribuye a este agrupamiento creando zonas industriales robustas, las cuales mejoran el estatus de la zona.

■ Clase baja y Zona peligrosa

- Las células de clase baja y las zonas peligrosas suelen aparecer cerca de los bordes opuestos a las células de clase alta. La regla que favorece la aparición de zonas peligrosas en presencia de vecinos de clase baja y la escasez de vecinos de clase media contribuye a esta distribución.

Estas áreas tienden a formar aglomeraciones significativas, creando sectores de baja calidad de vida y alta criminalidad en la simulación.

■ Zonas escolares

- Las células correspondientes a zonas escolares tienden a surgir en presencia de un número suficiente de vecinos de cualquier clase, lo que facilita una distribución más homogénea. Esto demuestra que el acceso a las zonas escolares no presenta ningún tipo de segregación basada en las distintas clases.

IV-B. Visualización de Resultados

A continuación, se presentan las visualizaciones de las simulaciones realizadas. Estas imágenes permiten observar los patrones de distribución y evolución de las distintas clases sociales y tipos de células en el tablero.

V. CONCLUSIONES

El proyecto de simulación basado en el Juego de la Vida de Conway adaptado para modelar el crecimiento urbano ha proporcionado valiosas perspectivas sobre la dinámica de las ciudades y la segregación socioeconómica. A partir de las reglas de nacimiento, mutación y muerte definidas para las

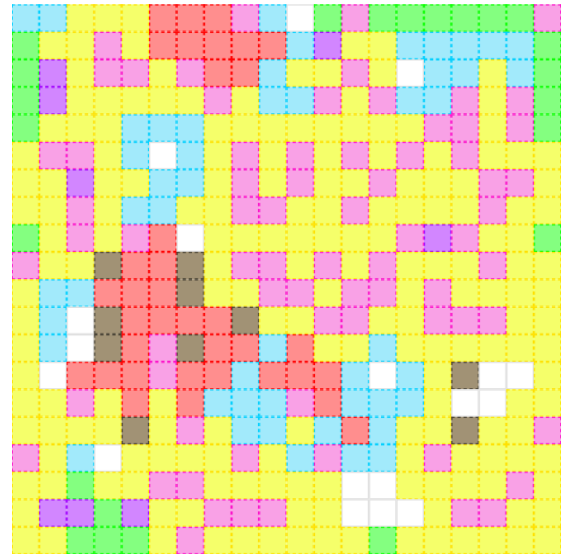


Figura 1. Mapa 20x20, Simulación N.1

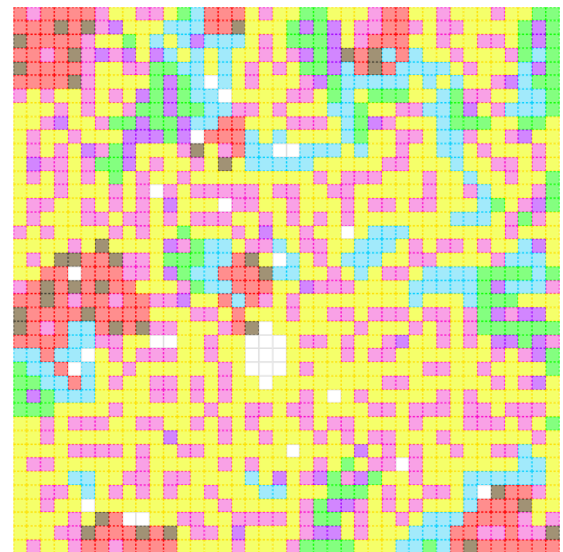


Figura 2. Mapa 40x40, Simulación N.1

diferentes clases sociales y tipos de células, se han observado patrones coherentes con teorías urbanas y modelos de segregación.

Observaciones Principales

- La simulación muestra una clara segregación espacial, con la clase alta y las zonas comerciales ubicadas predominantemente en la periferia del tablero. Este patrón refleja la tendencia de las áreas de mayor estatus económico y comercio a situarse en las zonas periféricas, posiblemente debido a factores como la búsqueda de privacidad, exclusividad y mejores servicios.
- En contraste, la clase media y las zonas industriales se concentran en el centro del tablero, formando grandes agrupaciones. Esto puede interpretarse como un reflejo de las áreas urbanas densamente pobladas y económica-

mente activas, donde las industrias y los trabajadores de clase media coexisten y se benefician mutuamente.

- Las áreas de clase baja y las zonas peligrosas se encuentran cerca de los bordes opuestos a las zonas de clase alta, formando aglomeraciones significativas. Este patrón es consistente con la realidad de muchas ciudades, donde las áreas de menor calidad de vida y alta criminalidad tienden a estar segregadas de las áreas de mayor estatus.

REFERENCIAS

- [1] T. C. Schelling, "Dynamic models of segregation", *Journal of Mathematical Sociology*, vol. 1, pp. 143-186, 1971.[Online]. Available: <https://acoustique.ec-lyon.fr/chaos/Schelling71.pdf>
- [2] S. Iltanen, "Cellular Automata in Urban Spatial Modelling," in *Agent-Based Models of Geographical Systems*. [Online]. Available: <http://www.casa.ucl.ac.uk/ABM.pdf>