

# Segregación social

Simulación de Relaciones entre Clases Sociales mediante el uso de Autómatas Celulares

1<sup>st</sup> Juan Pablo Idarraga Pabón

*Ingeniería de Sistemas*

*Universidad del Valle*

Tuluá, Colombia

idarraga.juan@correounivalle.edu.co

2<sup>nd</sup> Juan Sebastian Marin Serna

*Ingeniería de Sistemas*

*Universidad del Valle*

Tuluá, Colombia

juan.marin.serna@correounivalle.edu.co

3<sup>rd</sup> Jose Luis Ramos Arango

*Ingeniería de Sistemas*

*Universidad del Valle*

Tuluá, Colombia

jose.luis.ramos@correounivalle.edu.co

**Abstract**—This project presents the development of a cellular automaton simulation that models a society with varying income levels, using NetLogo. Each cell in the automaton represents an individual or a household, with attributes indicating their income class (low, middle, high) and proximity to essential services (hospitals, schools, recreational centers). The simulation allows for dynamic policy changes that influence societal development, promoting either the growth of the middle class or the decline of the upper class. The model aims to provide insights into the impact of different policies on social stratification and community development.

**Index Terms**—Cellular automaton, income levels, societal simulation, NetLogo, policy impact, community development, social stratification, simulation modeling.

## I. INTRODUCCIÓN

Un autómatas celular (AC) es un modelo discreto estudiado en teoría computacional, matemáticas, física, ciencia de la complejidad y biología teórica. Consiste en una cuadrícula de celdas, cada una en uno de un número finito de estados. La cuadrícula puede tener cualquier número finito de dimensiones, aunque generalmente es bidimensional. El tiempo en un autómatas celular avanza en pasos discretos, y el estado de cada celda en un momento dado depende de su propio estado y de los estados de sus vecinos en el paso anterior, según un conjunto de reglas. Estas reglas se aplican uniformemente en toda la cuadrícula, lo que conduce a la evolución de los estados de las celdas a lo largo del tiempo [1].

Los autómatas celulares se utilizan ampliamente para simular sistemas y procesos complejos, debido a su simplicidad y capacidad para producir comportamientos complejos a partir de reglas simples. Las aplicaciones de los autómatas celulares incluyen la modelación de sistemas físicos, biológicos y sociales.

En este proyecto, desarrollamos una simulación de un autómatas celular utilizando NetLogo para modelar una sociedad con diferentes niveles de ingresos. Cada celda en el autómatas representa un individuo o un hogar, con atributos que indican su clase de ingresos (baja, media, alta) y la proximidad a servicios esenciales como hospitales, escuelas y centros recreativos. La simulación permite cambios de políticas dinámicos que influyen en el desarrollo de la sociedad, promoviendo el crecimiento de la clase media o causando el declive de la clase alta.

El objetivo principal de este proyecto es explorar el impacto de diferentes políticas en la estratificación social y el desarrollo comunitario. Al visualizar los efectos de estas políticas, la simulación proporciona ideas sobre los posibles resultados de diversas estrategias socioeconómicas.

Este documento está organizado de la siguiente manera: la Sección II discute los trabajos relacionados y el contexto sobre los autómatas celulares y sus aplicaciones. La Sección III describe la metodología utilizada en el desarrollo de la simulación, incluidas las reglas que rigen las transiciones de estado de las celdas y la implementación de los cambios de políticas. La Sección IV presenta los resultados de la simulación bajo diferentes escenarios de políticas. La Sección V concluye el documento con un resumen de los hallazgos y sugerencias para trabajos futuros.

## II. TRABAJOS RELACIONADOS Y CONTEXTO

Los autómatas celulares han sido utilizados en una variedad de campos para modelar sistemas complejos. En el ámbito social, se han aplicado para estudiar fenómenos como la segregación urbana, la difusión de innovaciones y la dinámica de población. La simplicidad de los autómatas celulares permite la creación de modelos que, aunque simplificados, pueden capturar dinámicas esenciales de sistemas complejos. En esta sección, revisamos algunos trabajos clave que han utilizado autómatas celulares para modelar sistemas sociales y económicos.

### A. Cifrado de Wolfram usando Autómatas Celulares

Stephen Wolfram propuso un método de cifrado basado en autómatas celulares unidimensionales, específicamente utilizando la Regla 30. Este cifrado emplea la evolución de los estados de un autómatas celular para generar secuencias pseudoaleatorias que pueden usarse para encriptar datos. La Regla 30, conocida por su comportamiento caótico y complejo, convierte entradas sencillas en salidas que parecen aleatorias, proporcionando una base sólida para técnicas de cifrado. Este método explota la naturaleza intrínsecamente impredecible de ciertos autómatas celulares para asegurar la confidencialidad de la información. [2]

### B. Modelo de Segregación de Schelling

Un notable ejemplo del uso de autómatas celulares para estudiar el desarrollo poblacional es el modelo de segregación de Thomas Schelling. Este modelo simula cómo la preferencia de individuos por vivir cerca de otros similares puede llevar a la formación de patrones segregados. En el modelo de Schelling, una cuadrícula de celdas representa una población, y cada celda puede estar ocupada por un individuo de un grupo específico o estar vacía. Los individuos se mueven a nuevas ubicaciones si no están contentos con su entorno, lo que depende de la composición de los vecinos cercanos. Este modelo ilustra cómo, incluso con preferencias moderadas, pueden surgir patrones de segregación significativos. [3]

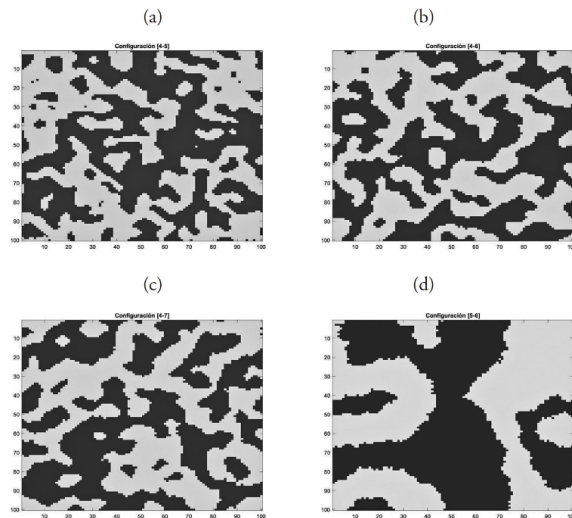


Fig. 1. Distintas distribuciones resultantes en el estudio de Schelling.

## III. METODOLOGÍA

### A. Configuración del Autómata Celular

El modelo se implementó en NetLogo, una plataforma ideal para la visualización y simulación de autómatas celulares. La cuadrícula del autómata representa una comunidad, donde cada celda puede pertenecer a una de las tres clases de ingresos: baja, media o alta. Además, algunas celdas representan servicios esenciales como hospitales, escuelas, centros recreativos e industrias.

El autómata celular planteado en NetLogo posee los siguientes atributos:

- **color:** Indica la clase social a la que pertenece la célula.
- **alta?:** Indica si pertenece a clase alta.
- **media?:** Indica si pertenece a clase media.
- **baja?:** Indica si pertenece a clase baja.
- **hospital?:** Indica si es una célula de tipo hospital.
- **colegio?:** Indica si es una célula de tipo colegio.
- **centro?:** Indica si es una célula de tipo centro.
- **recreativo?:** Indica si es una célula de tipo recreativo.
- **ingresos:** ingresos de la célula.
- **servicios:** Accesibilidad a servicios de la célula.

- **densidad:** Densidad poblacional de la célula.
- **transition-value:** Valor de transición para determinar clase social.

Para los atributos de "Densidad" y "Servicios" un valor más alto no significa necesariamente un aumento numérico en estos valores reales como sería decir que hay más personas en la vecindad si tiene un alto valor de densidad, sino que representa una mejora en dicho atributo, que quiere decir que la densidad poblacional en esa célula es mucho mejor comparada con las demás.

Por otro lado, la principal función para determinar la clase social que va a tener la célula está dada mediante la siguiente ecuación:

$$transition - value = \left( \frac{ingresos}{100000} + servicios + densidad \right) \quad (1)$$

Con esta ecuación se le asigna un puntaje que posteriormente se le da a la célula a partir de sus parámetros como lo son sus ingresos, acceso a servicios y la densidad poblacional que hay en dicha célula, una vez revisado ese puntaje es que se procede a pintar la célula del color que le corresponde y activar el booleano de dicha clase.

### B. Reglas de Transición

Las reglas de transición determinan cómo cambia el estado de una celda en función de los estados de sus vecinos. Estas reglas varían según el estado del selector de políticas:

- **Ninguna:** Se promueve el desarrollo de la clase alta y media enfocándose en que sea muy poco probable que la clase alta tenga un contacto directo con la clase baja, simulando el pensamiento de segregación de clases natural.
  - Las celdas de clase baja pueden ascender a clase media si tienen suficientes vecinos de clase media o alta.
  - Las celdas de clase media pueden ascender a clase alta con suficientes vecinos de clase media o alta.

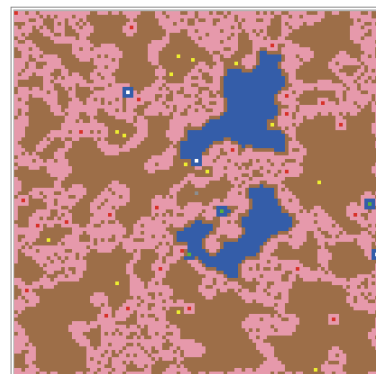


Fig. 2. Vista de NetLogo ejecutando el autómata celular con ninguna política.

- **Peperonismo:** La clase alta tiende a disminuir su velocidad de esparcimiento hasta quedar estables y los

bloques aislados de clase media en medio de clases bajas desaparecen en clases bajas porque no hay políticas de desarrollo que les ayude a mantener su status y genera que lo poco que tenían desaparezca.

- Las celdas de clase alta descienden a clase media o baja dependiendo de sus vecinos.
- Las celdas de clase media pueden descender a clase baja si tienen muchos vecinos de clase baja.

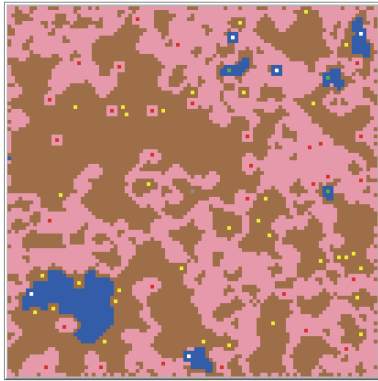


Fig. 3. Vista de NetLogo ejecutando el autómata celular con políticas de peperonismo.

- **Empobrecimiento:** La clase baja tiende a ser la predominante en el modelo demostrando el uso de malas políticas económicas por parte del Estado.
  - Clase baja tiene unas muy altas posibilidades de esparcise por el mapa.
  - Clase alta y media tienen muy baja probabilidad de desarrollarse debido a las difíciles condiciones que tienen para poder crecer.

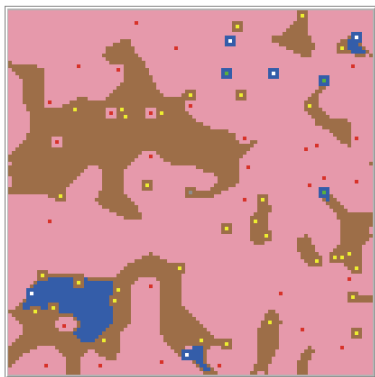


Fig. 4. Vista de NetLogo ejecutando el autómata celular con política de empobrecimiento.

- **Reactivación:** Simula políticas de desarrollo para que la clase baja pueda desarrollarse económicamente y que aumente consistentemente la transición de clase baja a clase media.

Las reglas de transición son cruciales para determinar cómo evolucionan las células en el autómata. Cada regla ajusta los atributos ingresos, densidad, y servicios en función de los



Fig. 5. Vista de NetLogo ejecutando el autómata celular con política de reactivación económica.

vecinos de una célula. El **transition-value** es una función que asigna una puntuación a la célula basada en estos atributos, reflejando su calidad de vida y su clase social. A mayor transition-value, mejor es la clase social de la célula.

### C. Implementación de Cambios de Políticas

La lista desplegable de políticas se puede seleccionar entre el distinto conjunto de políticas implementadas en la metodología, estas políticas se pueden cambiar en cualquier momento durante la ejecución del proyecto.

Se recomienda seguir en orden las políticas presentadas en la lista ya que, de esta manera se asegura de simular una sociedad más real ya que se muestra la evolución de la misma, viendo como un estado intenta aplicar nuevas políticas para promover el desarrollo de las comunidades y posteriormente regresar a una donde se establezca la economía.

### D. Distribución Inicial

La distribución inicial de las celdas y los servicios se realiza aleatoriamente mediante el botón **setup-random**. Esto asegura que cada ejecución de la simulación puede comenzar con una configuración diferente, proporcionando una variedad de escenarios para analizar.

Con esta distribución aleatoria, se reparte por todo el área de las celdas, poniendo las celdas especiales (hospitales, industrias, colegios, centro), las cuales después de ser puestas en el mundo no desaparecerán a lo largo de todas las transiciones que tenga el autómata ya que son estáticas y tienen sus propias reglas.

### E. Transiciones mediante las reglas

Se selecciona uno de los dos botones "go-once" o "go-forever" para aplicar las reglas de transición propuestas en la metodología para observar los cambios que pueden generar este tipo de reglas basadas en la tolerancia de vecinos de cada una de las células.

## IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### A. Escenario con Ninguna Política

Al activar las políticas de desarrollo (inicialmente en Ninguna) observamos una expansión significativa de la clase

media. Las celdas de clase baja que se encuentran cerca de celdas de clase media o servicios esenciales tienden a ascender. Este crecimiento fomenta una mayor homogeneidad en la distribución de ingresos.

Con el uso de esta política se observa una mayor similitud a los resultados obtenidos en el estudio realizado por Schelling, mostrando un mayor parecido al comportamiento natural de una sociedad.

#### B. Escenario con Peperonismo

Con las políticas restrictivas (lista en Peperonismo), la clase alta tiende a frenar rápidamente su crecimiento. Las celdas de clase alta descienden a clase media o baja, lo que lleva a una mayor concentración de celdas de clase baja. Este escenario resalta los efectos negativos de políticas que no apoyan el desarrollo de la clase media o alta provocando un estancamiento general de la sociedad simulada, donde esto no debería ser el fin que busque un Estado con sus pobladores, sino dar apoyo a las personas para que se desarrollen económicamente.

#### C. Escenario con Empobrecimiento

Con las políticas de empobrecimiento se simula un Estado que no sabe manejar la economía de sus ciudadanos, generando que la sociedad se empobrezca rápidamente y que muy probablemente lleve a la ruina toda su sociedad, solo manteniéndose aquellas comunidades que se encuentran cerca de lugares de suma importancia económica, como lo es centros hospitalarios y escuelas.

#### D. Reactivación

Con las políticas de reactivación se simula lo que debería intentar hacer un Estado cuando sus ciudadanos se están llenando a un empobrecimiento total y desean activar nuevamente el desarrollo económico de su sociedad, generando que esa pobreza no sea un status quo sino algo pasajero generado por sus malas decisiones.

#### E. Escenario con Cambios Dinámicos de Políticas

Al cambiar las políticas en medio de la simulación, se observa una pausa en el desarrollo mientras las nuevas reglas se implementan. Esta flexibilidad permite estudiar cómo las políticas de intervención pueden alterar la trayectoria de desarrollo de una sociedad.

### V. CONCLUSIONES

El desarrollo de este proyecto ha permitido explorar y aplicar conceptos de autómatas celulares para simular y analizar el comportamiento de una sociedad urbana. Al implementar diferentes políticas sociales y reglas de transición, hemos observado cómo la distribución de clases sociales y la accesibilidad a servicios influyen en la evolución de una ciudad simulada. Los resultados demuestran que los autómatas celulares son una herramienta efectiva para modelar fenómenos complejos, ofreciendo una representación visual y cuantitativa del desarrollo poblacional y socioeconómico.

El uso de atributos como ingresos, densidad y accesibilidad a servicios ha permitido una modelación más realista

y detallada de las condiciones de vida de las células. Estos atributos, combinados en el **transition-value**, proporcionan una métrica que refleja el bienestar general de las células y su clase social. A través de la simulación, se ha evidenciado que políticas enfocadas en la mejora de servicios y la reducción de desigualdades pueden promover una mayor equidad y cohesión social en la comunidad simulada.

Este proyecto no solo contribuye al entendimiento teórico de los autómatas celulares aplicados a la dinámica social, sino que también ofrece una plataforma para experimentar con diferentes escenarios y políticas, proporcionando valiosas percepciones y conclusiones para la planificación urbana y el desarrollo sostenible.

#### A. Trabajo Futuro

El presente estudio abre múltiples avenidas para futuras investigaciones y mejoras:

- **Modelación Multivariada:** Incluir más variables que afecten la transición de clases, como factores ambientales, niveles de educación, y empleo, para obtener una modelación más completa y precisa.
- **Interactividad en Tiempo Real:** Desarrollar una interfaz más interactiva que permita a los usuarios modificar parámetros y observar los cambios en tiempo real, facilitando un análisis más dinámico y participativo.
- **Validación Empírica:** Comparar los resultados de las simulaciones con datos reales de ciudades para validar y ajustar los modelos, asegurando que las simulaciones reflejen fielmente la realidad.
- **Optimización de Políticas:** Implementar algoritmos de optimización que identifiquen las políticas más efectivas para mejorar la calidad de vida y reducir las desigualdades sociales en las simulaciones.
- **Simulación en Escala Mayor:** Ampliar el modelo para simular regiones o países enteros, permitiendo un análisis más amplio de las dinámicas sociales y económicas.
- **Incorporación de Redes Sociales:** Integrar la influencia de las redes sociales y la comunicación entre individuos, analizando cómo estas interacciones impactan la distribución de clases y la accesibilidad a servicios.
- **Estudios Longitudinales:** Realizar simulaciones a largo plazo para estudiar los efectos sostenidos de diferentes políticas y eventos, como crisis económicas o desastres naturales, en la evolución de las clases sociales.

### REFERENCES

- [1] A. Cano Rojas and Rojas Matas, "Autómatas celulares y aplicaciones," *UNIÓN - REVISTA IBEROAMERICANA DE EDUCACIÓN MATEMÁTICA*, vol. 12, no. 46, Jun. 2016. [Online]. Available: <https://www.revistaunion.org/index.php/UNION/article/view/559>.
- [2] F. A. Benavente, "Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos basados en autómatas celulares," *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, no. 6, p. 4, 2006.

- [3] J. Urrutia-Mosquera, H. López-Ospina, F. Sabatini, and A. Rasse, "Tolerancia a la diversidad y segregación residencial. una adaptación del modelo de segregación de schelling con tres grupos sociales," es, *EURE (Santiago)*, vol. 43, pp. 5 –24, Sep. 2017, ISSN: 0250-7161. [Online]. Available: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0250-71612017000300005&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612017000300005&nrm=iso).