

Simulación de segregación económica usando autómatas celulares

1st Daniel Esteban Márquez Upegui

2nd Joan Manuel Jaramillo Avila

3rd Juan Felipe Monsalve Vargas

4th Leider Santiago Cortes Hernandez

Abstract—Las personas con niveles de ingresos similares tienden a agruparse en áreas específicas, este fenómeno es conocido como segregación económica. Esto lleva consigo desigualdades para las poblaciones. Este estudio utiliza un modelo de autómatas celulares bidimensional para simular cómo los patrones de segregación económica evolucionan en el tiempo bajo diferentes políticas y condiciones económicas.

I. INTRODUCCIÓN

Estudiar la segregación económica por medio de simulaciones resulta útil para comprender el comportamiento de poblaciones a través de diferentes políticas. En este estudio se utiliza un modelo de autómata celular para simular poblaciones bajo diferentes movimientos políticos y analizar patrones a través del tiempo. Los autómatas celulares son una herramienta muy poderosa para simular sistemas complejos, ya que permiten observar cómo interacciones locales dan lugar a patrones globales emergentes [1]. Dicho esto, el modelo creado consta de una matriz donde cada celda representa un área geográfica pequeña junto con sus atributos específicos que determinan su nivel de riqueza. Las reglas de transición son las causantes de cambiar los atributos de la población en el paso del tiempo. Es importante anotar que estas simulaciones son un simple proyecto académico y no necesariamente representan la complejidad de una economía en condiciones reales [2].

II. METODOLOGÍA

A. Modelo de Autómatas Celulares

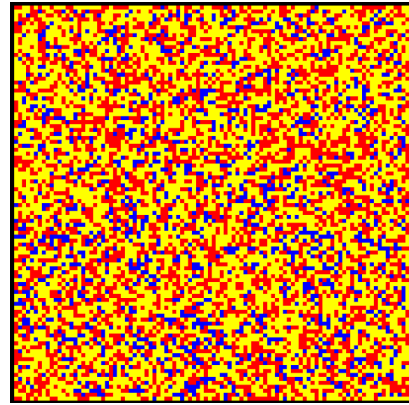
- 1) Celdas, representan áreas geográficas pequeñas con los siguientes atributos:
 - Código postal
 - Densidad poblacional
 - Promedio de ingresos
 - Nivel de educativo
 - Calidad de servicios en escuelas, hospitales y transporte público (Objeto anidado)
 - Clase económica (Estado del en el automata) baja, media y alta
- 2) Configuración inicial del automata. cada celda es llenada de manera aleatoria con las siguientes propiedades:
 - Código de celda incremental desde 1 hasta n celdas
 - Densidad de población aleatoria entre 0.1 y 1
 - Nivel de educación aleatorio entre 0.1 y 1
 - Servicios aleatorios. Calidad de escuelas, hospitales y transporte público son aleatorios entre 0.1 y 1 para cada uno

- Nivel de ingresos promedio dado por una distribución log normal para lograr un índice gini de 0.4 a 0.5 y obtener una distribución de riqueza uniforme [3]
- Clase económica (Estado) definida por su promedio de ingresos, nivel de educación y la calidad de servicios. Este se calcula en base a las propiedades anteriormente nombradas

B. Funciones de transición

- 1) Reglas de transición en función con las celdas vecinas:
 - Si la celda clase alta no tiene al menos dos vecinos clase alta, su promedio de ingresos se reduce un 20% y si no tiene al menos 1 un 30%.
 - Si la celda es clase baja y el ingreso promedio de los vecinos es mayor que 0.6, entonces el nivel de educación de la celda actual se establece en 0.65 para llevarla a clase media [4].
 - Si la celda clase media tiene 3 zonas ricas vecinas, su promedio de ingresos aumenta un 5%, si es clase baja un 1%.
 - Si la celda clase media está solo rodeada por vecinos clase baja se convierte en media (pierde el 50% de ingresos y patrimonio).
 - Se determina un factor suerte para tener un 50% de aumentar los ingresos de la celda o un 30% de disminuirlos.
 - Atracción. La celda de clase alta intentará moverse para estar al lado de otra celda clase alta. Tomará como más atractiva la más lejana junto con la calidad de servicios.
- 2) Reglas de transición en función de la política seleccionada:
 - Política social demócrata
 - Si la celda es clase alta se le cobra un impuesto progresivo. Por cada 20 unidades de ingreso promedio, se aplica un impuesto del 30%. El impuesto cambia a 40 unidades si se activa la atracción.
$$\text{ingresoActual} \times \left(1 - 0.3 \times \left(\frac{\text{ingresoViejo}}{20}\right)\right)$$
 - Si la celda es clase baja se mejoran las escuelas, los hospitales y servicios de transporte públicos [5].

- Política neoliberal
 - Si la celda es clase alta se aumenta en un 2% su promedio de ingresos.
 - Si la celda es clase media se disminuye un 5% su promedio de ingresos.
- Política socialista democrática
 - Realiza la suma de ingresos promedios entre la celda y sus vecinos para después repartirse por partes iguales entre cada uno.
 - Los servicios y el nivel de educación aumentan en un 20%.



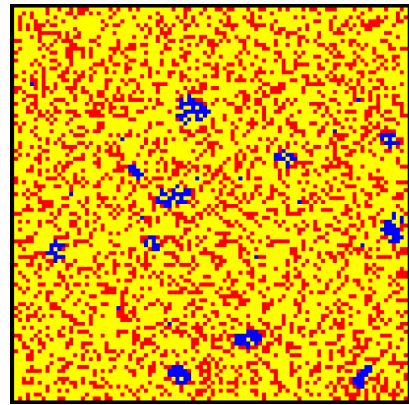
III. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

$T = 10$

A. Configuración y propiedades de la Simulación

El modelo realizado se desarrolló por medio de tecnologías como react, html y css. Por ende, se cuenta con una interfaz ui con las siguientes características:

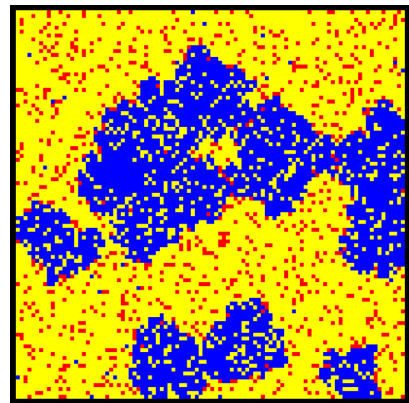
- Canva donde se muestran las celdas de color rojo, amarillo y azul para clase baja, media y alta respectivamente. sus interacciones en el tiempo.
- Botones para reiniciar, iniciar, pausar o adelantar paso por paso la simulación
- Barra de desplazamiento para aumentar o disminuir la densidad con un mínimo de 50 celdas por lado hasta un máximo de 100 celdas por lado
- Checkbox para activar o desactivar la atracción sobre las celdas clase alta.
- Selector donde están las tres políticas aplicables a la simulación, las cuales son 'Social democracia tímida', 'Neoliberalismo desatado', 'Socialismo democrático'
- Lista de estadísticas que contiene el índice gini junto con la cantidad y porcentaje de zonas clase baja, media y alta



$T = 60$

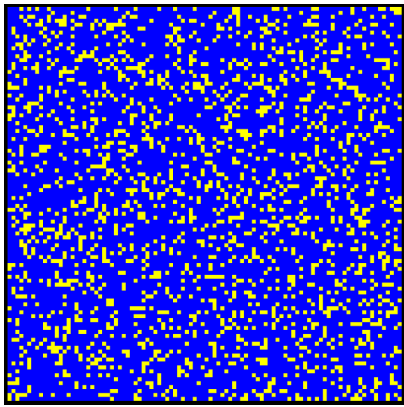
B. Funcionamiento de la Simulación

La simulación se basa principalmente en las reglas de transición. Dado a que el estado inicial se realiza de forma aleatoria es posible observar distintos comportamientos iniciales en cada nueva ejecución. Aun así, se identifican patrones que se generan al pasar del tiempo. Adicionalmente, es interesante observar el comportamiento cuando se inicia con una política y después de un tiempo se cambia por otra.



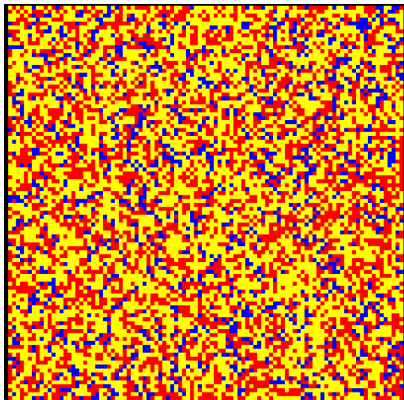
- 1) Social democracia tímida con tiempo medido en segundos: $T = 0$

$T = 180$

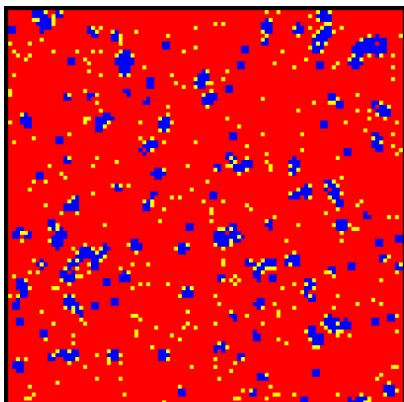


Se cobran impuestos a la clase alta para mejorar la educación y los servicios en la clase baja. Inicialmente se reduce la cantidad de clase alta mientras la clase baja va ascendiendo a clase media y con el paso del tiempo se mejora la economía global de forma progresiva.

- 2) Neoliberalismo desatado con tiempo medido en segundos: $T = 0$

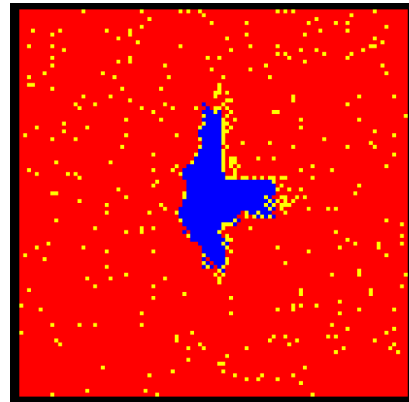


$T = 10$



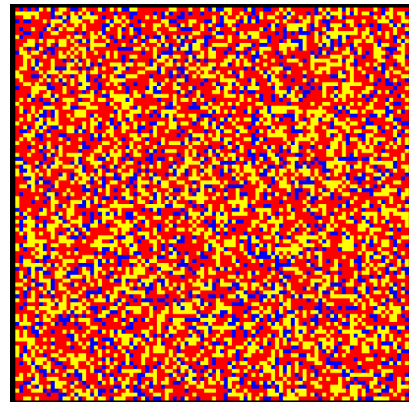
La clase alta aumenta su riqueza mientras que la clase media la disminuye llegando incluso a clase baja y quedar al borde de no tener ingresos a menos que su vecindad la beneficie con celdas clase alta. Esto aumenta el índice gini significativamente.

- 3) Neoliberalismo desatado con atracción de riqueza: $T = 10$

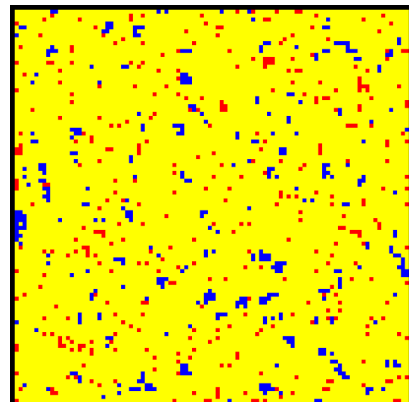


La riqueza se acumula y se concentra en una zona. Se observa la división entre clase alta y clase baja por medio de una 'barrera' de clase media. Además, la figura que se obtiene por medio de la concentración de la clase alta varía en cada ejecución.

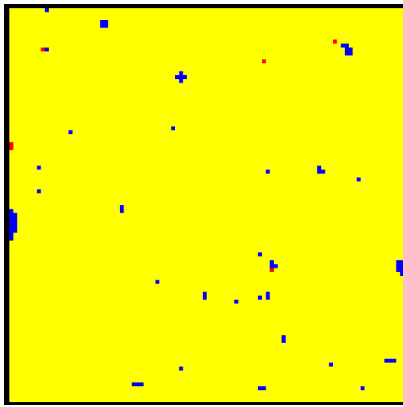
- 4) Socialismo democrático paso por paso: $P = 0$



$P = 1$

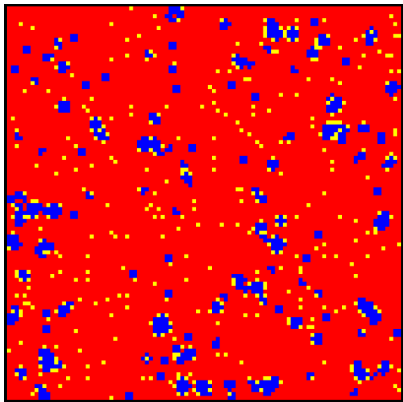


$P = 2$

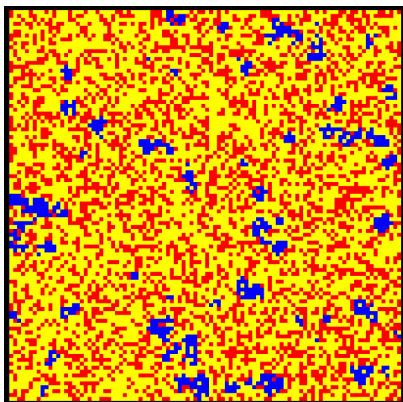


La tendencia está a volverse clase media. Sucede que al repartirse en partes iguales la riqueza entre las 9 celdas (una celda y sus 8 vecinas) no hay forma de que una celda se vuelva más rica o pobre que otra.

- 5) Neoliberalismo desatado a Social democracia tímida:
 $T = 10$

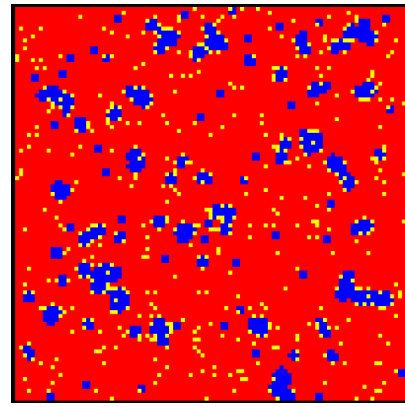


$T = 15$

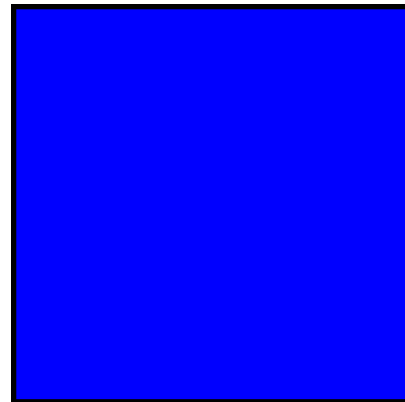


Después de obtener una desigualdad considerablemente alta, es posible recuperar la economía de forma progresiva.

- 6) Neoliberalismo desatado a Social democracia tímida:
 $T = 10$



$T = 15$



Se ha acumulado tanta riqueza en las manos de unos pocos que al repartirse entre todos hay demasiado dinero en circulación. Esto marca las celdas como clase alta según sus ingresos. Sin embargo, se analiza que a comparación con la riqueza general, nadie es verdaderamente clase alta.

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Es posible destacar varios comportamientos vistos en las simulaciones

- 1) El neoliberalismo desatado presenta una riqueza en las manos de unos pocos. Por lo mismo, se observa que cuando nace una celda clase media al rededor de la clase alta, es probable que se mantenga por mucho más tiempo que si una celda clase media nace rodeada de vecinos clase baja. Esto se observa en las 'islas' de celdas clase alta, los cuales están rodeados por la clase media
- 2) La política social democracia tímida se presenta como el modelo ideal para llevar una mejora progresiva de la economía. Aunque pareciera que en algún momento toda la población se volvería clase alta, lo que sucede es un control donde sigue existiendo la clase media y va desapareciendo la clase baja poco a poco
- 3) El socialismo democrático presenta comportamientos muy acelerados debido a que simula la repartición de ingresos para cada celda. De este modo, todas las celdas del autómata una a una está promediando sus ingresos

con sus 8 celdas vecinas y así repartiéndose de forma igualitaria. Por este motivo se utilizó paso a paso en la gráfica y no segundos.

- 4) Comparación de los resultados obtenidos con estudios previos. Por ejemplo, el modelo de Schelling sobre segregación muestra que las preferencias individuales pueden llevar a una segregación total incluso con una inclinación leve hacia la preferencia de vecinos similares [3]. La teoría de complejidad aplicada a sistemas urbanos por Batty también resalta cómo las interacciones locales pueden generar patrones globales complejos, similar a lo observado en nuestra simulación [4].
- 5) El modelo realizado puede presentar polémicas debido a los resultados obtenidos. Por ende, se desea recordar que una sociedad es mucho más compleja de simular y analizar. Además, la fidelidad con el mundo real variará significativamente al depender de la implementación de las reglas de transición.
- 6) Se busca obtener mejores resultados en un futuro implementando nuevas variables y funcionalidades como la riqueza relativa de la celda, la cual funcionaría dada la riqueza total del autómata.

V. CONCLUSIONES

Durante el desarrollo del proyecto se alcanzaron varias conclusiones importantes gracias a las políticas aplicadas en la simulación, las cuales mostraron resultados coherentes con los patrones esperados según el modelo en cada ejecución.

- 1) La política de social democracia tímida se mostró efectiva para mejorar progresivamente la economía y reducir la desigualdad, mientras que el neoliberalismo desatado acentuó la concentración de riqueza en manos de unos pocos. Las simulaciones revelaron comportamientos de segregación económica. Por ejemplo, bajo el neoliberalismo, surgieron y se mantuvieron estables "islas" de riqueza, mientras que en el socialismo democrático, la distribución de ingresos provocó una organización rápida y homogénea de las clases sociales.
- 2) La dinámica de transición entre clases económicas depende fuertemente de las condiciones iniciales y de las reglas de transición implementadas. Los modelos demostraron que es posible mitigar la pobreza con políticas adecuadas, pero también que la concentración de riqueza puede ser difícil de revertir una vez establecida. Es importante reconocer las limitaciones del modelo utilizado. Dado a la simplicidad del autómata celular, este no captura toda la complejidad de una economía real. Los resultados deben interpretarse como una simplificación de fenómenos más complejos. Para obtener resultados más precisos y útiles, se propone la implementación de nuevas variables y funcionalidades en futuras versiones del modelo, como la inclusión de riqueza relativa de cada celda en relación con la riqueza total del autómata, y el impacto de factores externos.
- 3) Los resultados obtenidos poseen similitudes con estudios previos y las referencias del proyecto sobre segregación

económica. Hablando sobre la efectividad de diferentes políticas. Esto valida el enfoque utilizado y abre la puerta para más estudios que puedan profundizar en aspectos específicos de la segregación y la movilidad económica. Este estudio evidencia la importancia de utilizar modelos de simulación para entender fenómenos sociales complejos. Aunque los resultados son simplificaciones, ofrecen una vista general sobre cómo diferentes políticas pueden influir en la distribución de riqueza y la estructura social.

REFERENCES

- [1] M. Mitchell, *Complexity: A Guided Tour*. Oxford University Press, 2009.
- [2] S. Wolfram, *A New Kind of Science*. Wolfram Media, 2002.
- [3] T. C. Schelling, "Dynamic Models of Segregation," *Journal of Mathematical Sociology*, vol. 1, no. 2, pp. 143-186, 1971.
- [4] M. Batty, *Cities as Complex Systems: Scaling, Interaction, Networks, Dynamics and Urban Morphologies*. MIT Press, 2005.
- [5] A. Ilachinski, *Cellular Automata: A Discrete Universe*. World Scientific, 2001.