

La segregación económica al ser simulada computacionalmente

1st Valentina Londoño Dueñas

Ingeniería de sistemas
Universidad del Valle
Tuluá, Colombia

valentina.londono.duenas@correounivalle.edu.co

2nd Juan David Cataño Castillo

Ingeniería de sistemas
Universidad del Valle
Tuluá, Colombia

juan.david.catano@correounivalle.edu.co

3rd Kevin Estiven Gil Salcedo

Ingeniería de sistemas
Universidad del Valle
Tuluá, Colombia

kevin.gil@correounivalle.edu.co

4th Nicolás Prado León

Ingeniería de sistemas
Universidad del Valle
Tuluá, Colombia

nicolas.prado@correounivalle.edu.co

Abstract—This project presents a simulation model developed to study patterns of urban segregation and their relationship with social classes in Colombian cities. The study builds upon previous research on income distribution, educational levels, and access to services, applying these variables in a NetLogo simulation environment.

Index Terms—Urban segregation, social classes, simulation, NetLogo, urban policies.

I. INTRODUCCIÓN

La segregación económica es un fenómeno que ha influenciado en gran escala la estructura social y el desarrollo urbano en nuestro país, se caracteriza por la concentración de grupos socioeconómicos definidos en áreas geográficas específicas de la ciudad, las cuales tienden a seguir un patrón en la mayoría de territorios.

Esta segregación, causa un impacto significativo en la desigualdad de oportunidades y la cohesión social, afectando la calidad de vida de los ciudadanos en términos como la atención brindada por el gobierno o casos de discriminación, especialmente en las zonas precarias.

Contando con este contexto, se realizó una exhaustiva investigación, mediante la cual fue posible entender los patrones que presenta cada individuo según la clase social a la que pertenece. Aspectos como el nivel educativo y la cantidad de ingresos que circulan por los hogares de cada persona son determinantes para definir su entorno y comportamiento con los demás, siendo estos dos factores los principales sometidos a investigación.

A partir de la información obtenida, se realizó una simulación en menor escala del comportamiento promedio que presentan las ciudades, desarrollada completamente en el entorno de desarrollo NetLogo, empleando su respectivo lenguaje de programación sobre el cual formulamos reglas basadas en la información recompilada. El objetivo con este informe, es explicar en detalle la implementación realizada, explicando la lógica empleada en el código y sus respectivos resultados.

II. METODOLOGÍA

A. Acercamiento al problema planteado

Para obtener una simulación satisfactoria, se inició una investigación acerca de la distribución de los ingresos en las principales ciudades de nuestro país, centrándonos en la ciudad de Cali. La investigación, permitió identificar 4 tipos de clases:

- **Clase baja:** Se caracteriza por un bajo nivel de ingresos, educación limitada y acceso restringido a oportunidades. Las personas de esta clase suelen trabajar en empleos informales o de baja remuneración, y viven en condiciones de vivienda precarias.
- **Clase vulnerable:** Se encuentra en una situación económica intermedia entre la pobreza y la clase media. Las personas de esta clase suelen tener un trabajo formal con un salario mínimo o cercano al mismo, y viven en condiciones de vivienda modestas.
- **Clase media:** Se caracteriza por un nivel de ingresos moderado, acceso a educación de calidad y mayores oportunidades laborales. Las personas de esta clase suelen tener un trabajo profesional o técnico, y viven en condiciones de vivienda confortables.
- **Clase alta:** Se caracteriza por un alto nivel de ingresos, acceso a educación de élite y amplias oportunidades. Las personas de esta clase suelen tener altos cargos directivos o empresariales, y viven en condiciones de vivienda lujosas.

Adicionalmente, se identificaron las diversas interacciones que ocurren con frecuencia en la convivencia entre clases, las cuales se clasifican en:

- **Cooperación:** Las clases sociales pueden colaborar en proyectos de interés común, como la defensa del medio ambiente o la lucha contra la pobreza.
- **Conflicto:** Las diferencias económicas y sociales pueden generar tensiones y conflictos entre las clases.

- **Indiferencia:** Las clases sociales pueden vivir en mundos separados, sin tener mayor interacción entre sí.
- **Paternalismo:** Las clases altas pueden adoptar una actitud paternalista hacia las clases bajas, asumiendo un rol de benefactor o protector.

Al conocer la distribución de las clases sociales y su interacción, es posible iniciar la construcción del modelo.

B. Entorno de desarrollo

Para construir y observar gráficamente el comportamiento de un autómata celular, es necesario contar con un entorno de desarrollo adecuado que nos provea de las herramientas necesarias para la ejecución de la simulación, en este caso, el entorno escogido fue NetLogo, debido a su interfaz intuitiva y su lenguaje de programación integrado que es de fácil comprensión.

El entorno de Netlogo nos permitió una amplia exploración de nuestro modelo, contando con una interfaz gráfica que permitía iterar el modelo infinitas veces y observar su comportamiento, identificando así los fenómenos emergentes que surgían y su razón de ser. Principalmente se trabajó con parcelas, siendo estas una pieza cuadrada de tierra, a la cual se le otorgaron propiedades según las necesidades de nuestro proyecto.

C. Definición de células

A pesar de que en la investigación se identificaron cuatro clases sociales, para efectos de la construcción del autómata se optó por contar con las tres principales, y repartir los porcentajes de la clase vulnerable entre la media y la baja. En Colombia la clase alta representa tan solo un 2,8% de la población, por lo cual la variable se inició fiel a ese dato, las dos clases restantes se repartieron en el resto de la simulación de manera uniforme.

Se decidió establecer tres principales entidades, las cuales son: Universidad, tienda y hospital. Para su aparición, las universidades y hospitales cuentan con un porcentaje bajo de probabilidad, mientras que las tiendas se encuentran un poco más repartidas a lo largo del mapa.

Cada clase cuenta con tres atributos que describen su situación económica, y por consiguiente, afectan su comportamiento con sus vecinas, estos son:

- **cell-income:** Representa los ingresos económicos de la célula, estos aumentarán o disminuirán en función de sus vecinos.
- **cell-services:** Es la accesibilidad a los servicios (domésticos) de la célula, se agrupan en un número que se encuentra entre '1, 2, 3'.
- **cell-education:** Es el nivel educativo con el que cuenta la célula, al igual que los servicios, es un número entre '1, 2, 3'. Este dependerá de su clase social y la cercanía con una universidad, ya que se considerarán a los estudiantes.

Con estos criterios, las células son generadas en el mapa de manera oportuna y están listas para seguir las respectivas reglas de transición.

D. Reglas de transición

En un mundo con células generadas, solo falta establecer las interacciones que tendrán con sus vecinos para darle el dinamismo que compone una simulación como tal. Las reglas están construidas sobre las tres políticas que se implementaron, las cuales son un caso base, hecho sobre la investigación realizada, y los dos siguientes casos incluyen políticas extremistas hacía reglas que benefician o perjudican a los ciudadanos.

Normalidad: La primera política, pretende simular el funcionamiento de una ciudad promedio, en donde las clases de ambos extremos se encuentran aisladas en sectores específicos y difícilmente salen de estos, debido a las políticas con las que funciona el propio país, en donde no suele existir la atención necesaria hacía los sectores más vulnerables, y las altas clases se agrupan en sectores donde tienen mayormente contacto con su misma clase, beneficiándose de las políticas impuestas por el gobierno, creciendo así su riqueza en la mayoría de los casos.

Las normas establecidas se dividen en las tres clases:

• Clase baja:

- Vecindario Propio: Si la mayoría de sus vecinos son de clase baja, se formará todo un sector de esta clase, ya que la celda mantendrá sus valores actuales debido a la falta de oportunidades en estos sectores.
- Entidades cercanas: Si hay hospitales, universidades o tiendas cerca, la celda incrementa sus ingresos, servicios y educación respectivamente, esto debido a que se identificó en los análisis a ciudades consultados que alrededor de los hospitales y universidades existe un constante movimiento de ingresos, debido a las viviendas que son alquiladas especialmente a estudiantes.
- Vecinos de Clase Alta: Si hay una mayoría de vecinos de clase alta, la celda incrementa significativamente sus ingresos, servicios y educación.
- Vecinos de Clase Media: Si hay una mayoría de vecinos de clase media, la celda incrementa sus ingresos, servicios y educación, pero en menor medida que con vecinos de clase alta.

• Clase media:

- Vecindario Propio: Si la mayoría de sus vecinos son de clase media, la celda mantiene sus valores actuales.
- Entidades Cercanas: Si hay hospitales, universidades o tiendas cerca, la celda incrementa sus ingresos, servicios y educación.
- Vecinos de Clase Alta: Si hay una mayoría de vecinos de clase alta, la celda incrementa sus ingresos, servicios y educación.
- Vecinos de Clase Baja: Si hay una mayoría de vecinos de clase baja, la celda puede disminuir sus ingresos y educación, esto implicaría pequeñas crisis financieras.

• Clase alta:

- Vecindario Propio: Si la mayoría de sus vecinos son de clase alta o media, la celda incrementa sus ingresos, ya que existe cierta concentración de la riqueza.
- Entidades Cercanas: La presencia de hospitales o universidades incrementa los ingresos.
- Vecinos de Clase Baja: Si hay una mayoría de vecinos de clase baja, la celda disminuye sus ingresos, servicios y educación.
- Tiendas Cercanas: La presencia de tiendas disminuye los servicios de la célula.

Equidad: Esta política representa un escenario beneficioso para las clases baja y media, ya que se implementa un plan de acción para combatir el problema de la concentración de la riqueza, este se atacará generando impuestos obligatorios que la clase alta tendrá que ceder a las clases baja y media, además, la clase media también se ve obligada a pagar impuestos pero en menos medida.

Las normas establecidas se dividen de igual forma en las tres clases:

• **Clase baja:**

- Vecindario Propio: Mantiene sus valores si la mayoría de sus vecinos son de la misma clase, debido a que no cuenta con vecinos que cuenten con la capacidad económica para ceder sus ingresos.
- Entidades Cercanas: Incrementa sus ingresos, servicios y educación por la presencia de hospitales, universidades o tiendas, por la misma justificación dada antes.
- Vecinos de Clase Media: Incrementa sus ingresos si hay una mayoría de vecinos de clase media.
- Vecinos de Clase Alta: Incrementa sus ingresos por los impuestos de vecinos de clase alta, los cuales son mayores a los anteriores.

• **Clase media:**

- Vecindario Propio: Mantiene sus valores si la mayoría de sus vecinos son de clase media, ya que no debe proveer de ingresos a ningún vecino.
- Entidades Cercanas: Incrementa servicios, ingresos y educación por la presencia de hospitales, universidades o tiendas.
- Vecinos de Clase Baja: Disminuye ingresos, servicios y educación por los impuestos hacia sus vecinos de clase baja.
- Vecinos de Clase Alta: Incrementa ingresos por los impuestos que recibe de vecinos de clase alta.

• **Clase alta:**

- Vecindario Propio: Mantiene sus valores si la mayoría de sus vecinos son de clase alta o media, ya que no debe proveer de servicios a nadie.
- Vecinos de Clase Baja y Media: Disminuye ingresos por impuestos hacia vecinos de clase baja y media.

Capitalismo Salvaje: La política más extrema, es el peor escenario para las clases baja y media, ya que favorece la concentración de riqueza en las clases altas, perjudicando el

resto del entorno. Este escenario plantea una situación de corrupción que es vista en diferentes ciudades e incluso países alrededor del mundo.

Las normas establecidas se dividen en las tres clases:

• **Clase baja:**

- Vecindario Propio: Mantiene sus valores si la mayoría de sus vecinos son de la misma clase.
- Vecinos de Clase Media: Incrementa ingresos, servicios y educación si hay una mayoría de vecinos de clase media.
- Vecinos de Clase Alta: Disminuye ingresos por los impuestos establecidos por los vecinos de clase alta.

• **Clase media:**

- Vecindario Propio: Mantiene sus valores si la mayoría de sus vecinos son de clase media.
- Vecinos de Clase Baja: Disminuye ingresos, educación y servicios, debido a que en este caso, la población estaría sumergida en una situación de caos y protestas, donde las personas más vulnerables se ven obligadas a saquear para mantenerse a flote.
- Vecinos de Clase Alta: Disminuye ingresos por los impuestos que exigen los vecinos de clase alta.

• **Clase alta:**

- Vecindario Propio: Incrementa ingresos, servicios y educación si la mayoría de sus vecinos son de clase alta.
- Vecinos de Clase Baja y Media: Incrementa ingresos por los impuestos recibidos de vecinos de clase baja y media.

E. Cálculo del valor de transición

Al implementar las reglas surgió un problema, el cual tenía que ver con los rangos establecidos de ingresos, servicios y educación para la transición de las células.

Debido a la magnitud de los ingresos representados en pesos colombianos, se escalaba a valores muy altos de sueldos, que eran tediosos de calcular, debido a los altos rangos que generaban. Además, al ser los servicios y educación valores tan mínimos, estos no surgían efecto alguno en la transición.

La solución implementada fue establecer una variable titulada 'IPM-value', la cual es la responsable de determinar cuando una célula transiciona de una clase a otra.

A esta variable se le asignará el valor de los ingresos de la respectiva celda y se realizará la siguiente operación con este valor.

$$(cell - income / 100000) + cell - services + cell - education \quad (1)$$

Esta eliminará los ceros de más en el valor de los ingresos, dejando como resultado un número al cual se le podrán sumar los servicios y la educación de manera efectiva, garantizando que afecten las clases de manera óptima.

Finalmente, se establecieron los valores de transición, que se encuentran entre uno y treinta, implicando rangos de diez puntos entre cada clase, para así evitar los cambios súbitos entre clases, que pueden sesgar el resultado de la investigación.

III. RESULTADOS

Finalmente, es posible iniciar la simulación contando con las células y sus respectivas reglas de transición, la implementación de estas reglas es fundamental, ya que determina cómo evolucionarán las células a lo largo del tiempo. Según la política que sea aplicada, se podrán observar resultados sumamente diferentes, debido al contraste entre cada regla creada. Cada conjunto de reglas puede llevar a patrones emergentes únicos, reflejando una gran variación en los resultados.

En esta sección se mostrará el estado de equilibrio de cada simulación, que es el punto donde las células ya no cambian o lo hacen de forma cíclica y predecible. Se presentarán visualmente los resultados obtenidos y se explicarán los patrones observados en detalle, justificando el comportamiento de las células. Además, se analizarán los fenómenos que se presentan a nivel socioeconómico, proporcionando una interpretación de cómo las reglas de transición influyen en estos aspectos. Este análisis va a permitir una mejor comprensión de la dinámica interna del sistema simulado y ofrecerá una perspectiva sobre cómo diferentes políticas pueden impactar en el comportamiento general del modelo.

A. Política de Normalidad

Al iniciar la simulación con la política de normalidad aplicada, se obtuvo el siguiente resultado:

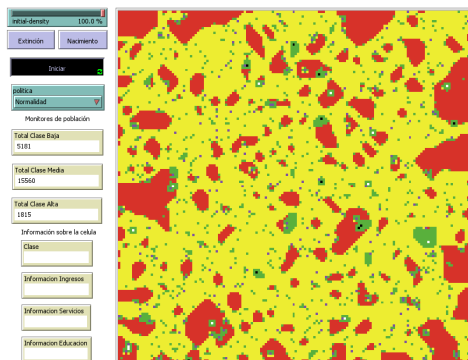


Fig. 1. Estado de equilibrio con la política 'Normalidad'

Se pueden observar grupos altamente definidos de cada clase, donde la clase media se encuentra equitativamente repartida por todo el mapa, mientras que las clases baja y alta cuentan con sectores específicos establecidos, los cuales difícilmente varían en la ejecución del modelo.

Este resultado representa un acercamiento a la distribución de barrios en una ciudad promedio de manera realista, donde existe una concentración tanto de riqueza como de vulnerabilidad en zonas específicas, que no suelen variar a lo largo del tiempo.

Los monitores creados en la interfaz, nos muestran como la generación de células sigue la proporción establecida en la investigación, donde la clase baja representa un valor mínimo en comparación con las demás clases.

B. Política de Equidad

Al iniciar la simulación con la política de equidad, se obtuvo el siguiente resultado:

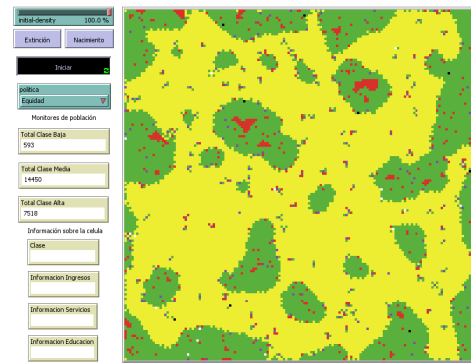


Fig. 2. Estado de equilibrio con la política 'Equidad'

Esta política pretende eliminar lo máximo posible la desigualdad social, estableciendo impuestos destinados a las clases vulnerables. Podemos ver un resultado positivo de esta política aplicada en el mundo simulado, donde las riquezas se encuentran más distribuidas y hay una cantidad considerablemente menor de personas en situación de pobreza.

Este resultado surge de establecer valores medios para los impuestos, donde no sean excesivos y provoquen una crisis económica en las clases altas, al contrario, es un valor equitativo para las clases que deben proveerlos.

En los monitores observamos los resultados de la implementación, donde la clase baja tiene un valor considerablemente bajo, a diferencia de las demás clases, valor que mientras más tiempo se ejecute la simulación, más disminuirá.

C. Política de Capitalismo salvaje

Al iniciar la simulación con la política titulada capitalismo salvaje, se obtiene el siguiente resultado:

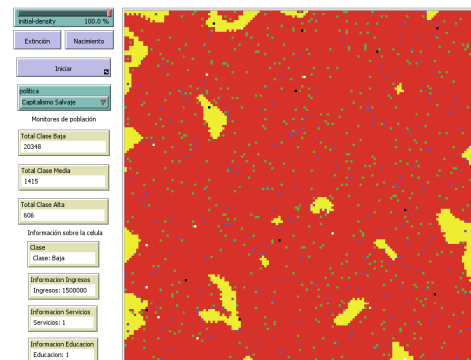


Fig. 3. Estado de equilibrio con la política 'Capitalismo salvaje'

Esta política pretende simular una situación extrema de corrupción, donde todos los recursos son exclusivamente destinados a las personas de poder, aumentando sus riquezas pero perjudicando a las demás clases vulnerables.

Para realizar esta simulación, se estableció un sistema de impuestos insostenibles hacia la clase media y baja, gracias a estos, la clase alta se beneficia y mantiene su estatus, mientras las demás personas vivirán una fuerte crisis financiera, donde el caos se desatará y la clase más vulnerable saqueará a la clase media que no cuenta con la protección que tienen los altos mandos.

Los monitores son claros al mostrar una distribución desproporcionada de clases, donde la clase baja irá cada vez más en aumento.

IV. CONCLUSIONES

La simulación realizada con NetLogo nos permitió observar y analizar los patrones de segregación económica en una ciudad ficticia, basada mayormente en la estructura y distribución de clases de la ciudad de Cali. A través de la implementación de tres políticas diferentes, pudimos entender cómo las políticas sociales afectan directamente la distribución de la riqueza y las oportunidades en un mismo entorno.

La política de normalidad reflejó una situación de segregación clásica, donde las clases sociales se agrupan en sectores específicos sin una mezcla significativa. Esto genera una situación de desigualdad, donde las clases más vulnerables no tienen acceso a los mismos recursos y oportunidades que las clases más altas.

La política de equidad demostró que la implementación de impuestos progresivos y redistributivos puede ser una herramienta eficaz para reducir la desigualdad, ya que los resultados mostraron una mayor distribución de la riqueza y una evidente disminución de la pobreza, siendo finalmente casi nula, lo que sugiere que políticas más inclusivas pueden llevar a una sociedad más justa.

Por otro lado, la política de capitalismo salvaje evidenció los peligros de una distribución extremadamente desigual de la riqueza, donde la acumulación de recursos en manos de la minoría con más poder lleva a un aumento de la pobreza y los conflictos sociales, causados por la desesperación de las personas vulnerables. Este escenario resalta la necesidad de regulaciones y políticas que eviten la concentración de riqueza, y la importancia de que personas correctas se encuentren al mando y supervisión de la ciudad.

En conclusión, la simulación resalta la importancia de las políticas públicas en la configuración de la estructura social y económica de una ciudad. Los resultados sugieren que las políticas equitativas no solo benefician a las clases más vulnerables, sino que también promueven la estabilidad social en el largo plazo. Sin embargo, es importante reconocer las grandes limitaciones del modelo y continuar investigando para desarrollar estrategias más efectivas y adaptadas a las realidades locales, donde se manejen más variables, entidades, y políticas, que puedan reflejar de manera exacta el funcionamiento de una ciudad real.

Contando con un modelo detallado, que se ajuste al contexto real de la ciudad estudiada, se podría contribuir en gran medida a la planeación de políticas que pretendan ayudar a las personas, ya que se contaría con un espacio de prueba

en donde se puede medir la efectividad de las políticas de manera rápida y eficiente, convirtiéndose en una herramienta fundamental para el área social.

REFERENCES

- [1] E. Quijano-Gómez, "Gentrificación, clases sociales y nuevos actores urbanos en el centro de Bogotá (Colombia)," *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, vol. 52, n° 206, pp. 887-900, 2020.
- [2] F. Saavedra, "Clases sociales: mientras en Colombia la pobreza monetaria creció, a nivel internacional el salario mínimo es de 'clase alta'," 8 Diciembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.infobae.com/colombia/2023/12/08/clases-sociales-mientras-en-colombia-la-pobreza-monetaria-crecio-a-nivel-internacional-el-salario-minimo-es-de-clase-alta/>. [Último acceso: 16 Junio 2024].
- [3] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), "Análisis de las clases sociales en las 23 ciudades y áreas metropolitanas de Colombia 2019-2021," 2022. [En línea]. Available: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/pobrez/a/2021/analisis_clases_sociales_23_ciudades.pdf. [Último acceso: 16 Junio 2024].
- [4] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), "Pobreza monetaria en Colombia según clases sociales," 22 Noviembre 2023. [En línea]. Available: [urlhttps://www.dane.gov.co/files/operaciones/PM/cp-PMClaseSociales-2022.pdf](https://www.dane.gov.co/files/operaciones/PM/cp-PMClaseSociales-2022.pdf). [Último acceso: 16 Junio 2024].
- [5] O. Barbary, "El componente socio-racial de la segregación residencial en Cali," in *Gente negra en Colombia: Dinámicas sociopolíticas en Cali y el Pacífico*, El Centro de Investigaciones y Documentación Socioeconómica, de la Facultad de Ciencias Sociales y Económicas de la Universidad del Valle (Cali); Institut de Recherche pour le Développement; Instituto para el Desarrollo de la Ciencia y Tecnología de Colombia "Francisco José de Caldas", COLCIENCIAS, 2004, pp. 157-193, ISBN 958-670-328-2.
- [6] A. Martínez, "Estudio de la pobreza urbana en cinco comunidades de la ciudad de Cali," *Cuadernos de Economía*, vol. 26, no. 47, pp. 113-150, 2007.
- [7] H. Fazio, "Mapa de la extrema riqueza al año 2005," Lom Ediciones, 2005.