

POSIBLES EXTENSIONES AL MODELO DE SEGREGACIÓN DE SCHELLING

Ramón Álvarez-Vaz S.Rodríguez-Collazo
(Instituto de Estadística); Facultad de Ciencias Económicas y de Administración
Universidad de la República
D.Ciganda(Max Planck Institute for Demographic Research)
Seminario IESTA

18 de Junio 2019

ESQUEMA DE LA PRESENTACIÓN

- 1 PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA
- 2 EXTENSIONES AL MODELO DE SCHELLING
- 3 DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS
- 4 RESULTADOS
- 5 COMENTARIOS FINALES
- 6 CONSIDERACIONES A FUTURO

INTRODUCCIÓN

MODELAJE DE PROCESOS SOCIALES

El modelo de segregación de Schelling representa una de las contribuciones centrales al modelaje computacional de procesos sociales. En primer lugar, porque expresa con claridad la evolución de los modelos Autómatas Celulares (AC) hacia Modelos Basados en Agentes (MBA). En el modelo de Schelling las células que componían los AC adquieren atributos humanos, permitiendo por primera vez representar estas células como *agentes*.

INTRODUCCIÓN

MODELAJE DE PROCESOS SOCIALES

El modelo de segregación de Schelling representa una de las contribuciones centrales al modelaje computacional de procesos sociales. En primer lugar, porque expresa con claridad la evolución de los modelos Autómatas Celulares (AC) hacia Modelos Basados en Agentes (MBA). En el modelo de Schelling las células que componían los AC adquieren atributos humanos, permitiendo por primera vez representar estas células como *agentes*.

TEORÍA DE LA COMPLEJIDAD

Por otro lado, el modelo de Schelling ilustra también muy claramente la idea de *emergencia*, uno de los conceptos centrales en la Teoría de la Complejidad, que refiere a la aparición de un resultado a nivel *macro* que no es posible predecir a partir de la información aportada por las *micro* unidades que componen el sistema.

APORTE

Pero la centralidad de este modelo se explica porque sus contribuciones exceden el plano metodológico, aportando en lo sustantivo a una mejor comprensión de las dinámicas de segregación espacial observadas en distintos contextos urbanos.

VERSIÓN ORIGINAL

El modelo de Schelling (MS) representa una ciudad o área urbana como una cuadrícula toroidal compuesta por un número determinado de parcelas habitadas por agentes que pertenecen a dos grupos distintos (por ej. etnias, clases sociales) (Schelling,1971) (4).

VERSIÓN ORIGINAL

El modelo de Schelling (MS) representa una ciudad o área urbana como una cuadrícula toroidal compuesta por un número determinado de parcelas habitadas por agentes que pertenecen a dos grupos distintos (por ej. etnias, clases sociales) (Schelling,1971) (4).

REGLAS DE JUEGO

No hay minorías, ya que cada grupo aporta el 50% del total de agentes, los cuales se distribuyen aleatoriamente sobre la cuadrícula. Así, al inicio de la simulación, cada parcela puede estar vacía u ocupada por un agente, en cuyo caso se define un vecindario, constituido por las 8 celdas que rodean al mismo. Esta dimensión del vecindario equivale a lo que se conoce como vecindario de Moore de radio 1.

DINÁMICA DEL SISTEMA

- Los agentes del modelo pueden moverse de una parcela a otra, de acuerdo a un nivel de *satisfacción* de cada agente respecto a la composición de su vecindario en cada período.
- Los agentes se encuentran satisfechos si la proporción de vecinos de su mismo grupo es igual o superior a determinado umbral de tolerancia definido a priori u , \Rightarrow parámetro central del modelo
- u está asociado a una *regla* de comportamiento que en este caso determina que los agentes que no se encuentren satisfechos en un período se muevan a una parcela vacía al azar en el período siguiente.

POTENCIAL DE ESTE TIPO DE MODELADO

El modelo puede ser analizado en distintas dimensiones, y arroja como resultado principal el nivel de segregación a nivel agregado tiende a ser *mayor* al que hubiera podido preverse conociendo las preferencias individuales de los agentes.

- La *interacción* de los agentes en un ambiente determinado de acuerdo a reglas locales incorpora información extra a la contenida en los atributos de los agentes.
- Más específicamente, esto significa que la formación de guetos no está determinada exclusivamente por las preferencias personales, sino también por la dinámica de los movimientos *del conjunto* de agentes en determinada área.

FORTALEZAS Y DEBILIDADES

Modelo de Schelling simple pero limitado

ALGUNOS CAMBIOS

De acuerdo a (Squazzoni,2012)(5)

- Análisis de sensibilidad de los resultados originales a una variedad de modificaciones(cuantitativas y cualitativas)
- Utilización de las dinámicas centrales del modelo en otros dominios del mundo social y natural.

Otra manera interesante en la que se ha intentado acercar el modelo a la realidad es utilizando datos empíricos para calibrarlo (Yin,2009)(6).

ALGUNAS ALTERNATIVAS

INCORPORACIÓN DE DINÁMICAS

- En (García-Valecasas)(1) se permite la variación del tamaño de los grupos con el objetivo de explorar como la presencia de un grupo mayoritario puede afectar la dinámica de la segregación urbana.
- Para densidades bajas la segregación es independiente del tamaño de los grupos.
- En cambio para densidades intermedias la segregación aumenta cuando la distancia en el tamaño de los grupos aumenta.
- Para densidades altas, sin embargo la segregación aumenta cuando el tamaño de los grupos étnicos tiende a aproximarse.
- Otro cambio consiste en asumir que las preferencias tienen una distribución determinada y asignar aleatoriamente a los agentes preferencias provenientes de dicha distribución. En (1) se asume que esta distribución es normal y se explora la sensibilidad del modelo a la variación en la media de dicha distribución.

MAS VARIANTES

FEEDBACK ENTRE EL NIVEL MICRO Y MACRO

- De hecho, en (Gilbert,2002)(2) aparece “estructuras emergentes de segundo orden”.
- Se supone que los agentes tienen la capacidad de interiorizar algunos procesos emergentes en el sistema y actuar en consecuencia.
- A este feedback se suman otras modificaciones
 - ▶ Redistribución de recursos desigual entre los grupos
 - ▶ Capacidad de moverse solo a locaciones que estén al alcance de los agentes de acuerdo a sus recursos
 - ▶ Un efecto sobre el valor de las locaciones determinado por la tasa de criminalidad en determinada área, que a su vez depende de la proporción de agentes de menos recursos que residen en dicha área
- El resultado central de esta extensión muestra que al dotar a los agentes de mayores capacidades cognitivas y de procesamiento de información sobre el nivel agregado, la segregación no disminuye sino que aumenta.

En el primer modelo se habilita la posibilidad de que los grupos tengan tamaños diferentes, para explorar los efectos sobre la segregación de la presencia de grupos minoritarios.

En el primer modelo se habilita la posibilidad de que los grupos tengan tamaños diferentes, para explorar los efectos sobre la segregación de la presencia de grupos minoritarios.

MODELO 1

- La cantidad de agentes N
- La cantidad de parcelas T
- El porcentaje de agentes sobre el total que pertenecen a uno de los grupos p
- El umbral de intolerancia u
- La razón del nivel de tolerancia de los grupos α
- La cantidad de iteraciones t

En el primer modelo se habilita la posibilidad de que los grupos tengan tamaños diferentes, para explorar los efectos sobre la segregación de la presencia de grupos minoritarios.

MODELO 1

- La cantidad de agentes N
- La cantidad de parcelas T
- El porcentaje de agentes sobre el total que pertenecen a uno de los grupos p
- El umbral de intolerancia u
- La razón del nivel de tolerancia de los grupos α
- La cantidad de iteraciones t

[Modelo 1] → El parámetro de tolerancia permanece fijo

$$f_1(T, N, p, t, u) \quad (1)$$

MODELO 2

Durante la simulación, la variabilidad del umbral, u , está dada por una grilla de valores que comienza con una tolerancia prefijada que va cambiando con t , de manera tal que al final de la iteraciones hay una sustitución completa de la tolerancia. La función correspondiente a este modelo está dado por (2)

MODELO 2

Durante la simulación, la variabilidad del umbral, u , está dada por una grilla de valores que comienza con una tolerancia prefijada que va cambiando con t , de manera tal que al final de la iteraciones hay una sustitución completa de la tolerancia. La función correspondiente a este modelo está dado por (2)

[Modelo 2] → Los niveles de tolerancia se modifican en el tiempo de acuerdo a una secuencia de determinística

$$f_2(T, N, p, t, \mu) \quad (2)$$

MODELO 3

Tolerancia aleatoria, sigue una distribución $Beta(a,b)$. De acuerdo a esta distribución se asignan las preferencias de los agentes.

MODELO 3

Tolerancia aleatoria, sigue una distribución $Beta(a,b)$. De acuerdo a esta distribución se asignan las preferencias de los agentes.

[Modelo 3] → Tolerancia aleatoria macro

$$f_3(T, N, p, t, \alpha, \beta) \quad (3)$$

La ventaja de la distribución $X \sim Beta(a,b)$ es que es muy flexible para cambiar la forma de la variabilidad de la tolerancia. Para $a = 1, b = 1$ se comporta como una uniforme $U \sim (0,1)$, para valores de $a, b < 1$ la concavidad es negativa. Adicionalmente es posible modificar la media de la distribución y la asimetría muy fácilmente.

Modelo donde los agentes tienen la capacidad de incorporar información proveniente del nivel macro y ajustar su preferencias en consecuencia.

Modelo donde los agentes tienen la capacidad de incorporar información proveniente del nivel macro y ajustar su preferencias en consecuencia.

MODELO 4

- El umbral de intolerancia de los agentes tiende a aumentar a medida que la segregación crece en la ciudad.
- Polarización de las opiniones que los distintos grupos/clases/etnias tienen sobre cada uno, a medida que disminuyen las posibilidades de contacto y convivencia.

[Modelo 4] → tolerancia aleatoria micro + feedback

$$f_4(T, N, p, t, \mu, \sigma) \quad (4)$$

MODELO 4

μ representa la media de una distribución normal truncada en el intervalo $[0.01, 0.99]$ y σ su desviación estandar. El inicio de la simulación se asigna un valor a cada agente proveniente de esta distribución, que representa su umbral de tolerancia. En la siguiente iteración las preferencias se actualizan de la siguiente forma:

$$u_{i,t+1} = u_{i,t} \cdot r \quad (5)$$

donde u es el umbral de intolerancia y r un multiplicador que depende del nivel de segregación, definido como:

$$r(s_1) = 0,3 / (1 + e^{-25 \cdot (s_1 - 0,8)}) \quad (6)$$

donde s_1 expresa la media de las proporciones de agentes similares en cada vecindario.

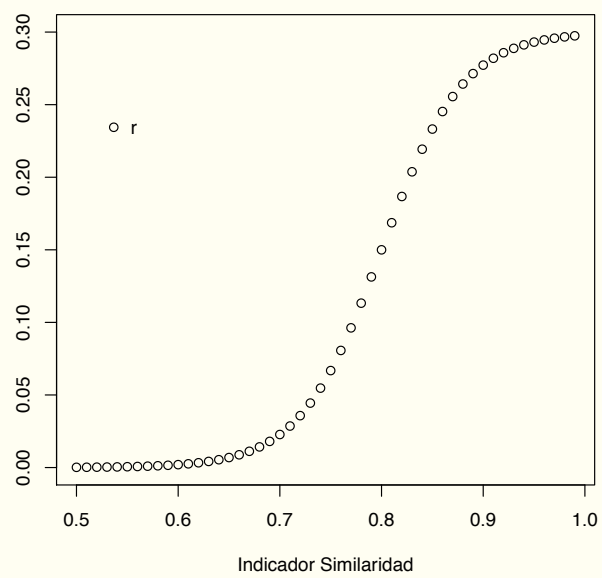


FIGURA 1: Multiplicador Preferencias

INDICADORES

- Proporción de agentes insatisfechos (μ)
- Índice de similaridad (s)
- Índice de disimilaridad (I)

Resultan de considerar el porcentaje medio de vecinos del mismo grupo para cada agente. Estas dos métricas son dos formas de medir la similaridad. Mediante s_1 se reporta la media de las proporciones de agentes similares en cada vecindario. Se incluye también, s_2 , propuesto en (1).

$$s_{1,t} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} \frac{VG_i}{V_i}}{T} \quad (7)$$

donde VG_i son los vecinos del mismo grupo que el agente, en la parcela i , en la iteración t y V_i , son todos los vecinos de un agente en la parcela i en la iteración t .

$$s_{2,t} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} VG_i}{\sum_{i=1}^{i=N} V_i} \quad (8)$$

MEDIDA DE UNIFORMIDAD

Medida clásica de la uniformidad con que dos grupos mutuamente excluyentes se distribuyen a través de áreas que son parte de un área geográfica mayor. Cuanto mayor es la segregación, mayor valor toma el índice. Si el indicador vale cero, no hay segregación.

$$I = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=N} \left| \frac{x_i}{N_1} - \frac{y_i}{N_2} \right| \quad (9)$$

En estos modelos, existen dos grupos étnicos en el espacio urbano, siendo N es el número total de agentes de ambos grupos, x_i el número de agentes del primer grupo en el vecindario i , N_1 el número total de agentes del primer grupo en todo el espacio, y_i el número de agentes del grupo 2 en el vecindario i , con N_2 el número total de agentes del segundo grupo en todo el espacio.

DINÁMICA DE LOS MOVIMIENTOS

Se calcula un indicador que recoge la distribución de los agentes, de acuerdo a su posición en cada momento t , con respecto a su posición al inicio de la simulación t_0 . En la Tabla explicita cómo se arma la distribución en el conteo:

DINÁMICA DE LOS MOVIMIENTOS

Se calcula un indicador que recoge la distribución de los agentes, de acuerdo a su posición en cada momento t , con respecto a su posición al inicio de la simulación t_0 . En la Tabla explicita cómo se arma la distribución en el conteo:

TABLA 1: Distribución del conteo de parcelas vacías y con agentes de tipo 1 y 2 al inicio y al final de la simulación

Parcelas al inicio	Vacías	Parcelas al final con agentes 1	Parcelas al final con agentes 2
Vacías	v_1	v_4	v_7
agentes de tipo 1	v_2	v_5	v_8
agentes de tipo 2	v_3	v_6	v_9

Para cada iteración t se analizan los movimientos producidos y se resumen en una distribución marginal

$DMV_t = (v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8, v_9)$, que resultan de dividir las celdas de la Tabla respecto al total T , en la iteración t .

En las figuras se muestra el ciclo de vida de cada escenario simulado. Las 3 curvas en trazo continuo grueso representan la dinámica observada en las parcelas que muestran que no tuvieron movimientos (color negro para v_1 que corresponde a los parcelas con 0 que no cambian, celeste para v_5 para los parcelas con 1 al inicio que no cambian y en naranja para v_9 con parcelas incambiadas con 2).

MODELO 1 - MINORÍAS

- ❶ En el primer escenario se cambia el número de agentes, lo que modula la densidad poblacional de la ciudad $N = (500, 1500, 2500)$. Se dejan fijos los demás parámetros, $p = 0,5$, con lo que en esta ciudad no hay minorías, igual cantidad de agentes de cada grupo, $\mu = 0,6$ la intolerancia, $\alpha = 0,5$ relación de tolerancias entre grupos.
- ❷ Se realizan las simulaciones cambiando $p = 0,25$ y fijando el resto de los parámetros en: $N = (500, 1500, 2500)$ con $\mu = 0,6$, $\alpha = 0,5$

$N = 500$; $\mu = 0.6$; $\alpha = 0.5$;

años=50; densidad =0.192;

$p = 0.5$; $N_1 = 250$; $N_2 = 250$

MODELO 2 - UMBRAL DE TOLERANCIA VARIABLE

- 1 En este segundo modelo, el umbral de tolerancia, μ , varía en el tiempo y por grupo de acuerdo a una grilla $\mu = (0,5, 0,6, 0,7, 0,8)$, partiendo de un valor $\mu = 0,6$.
- 2 Se introducen cambios en la cantidad de agentes, $N = (500, 1500, 2500)$ y $p = 0,5$, $\alpha = 0,5$ permanecen fijos.
- 3 Se va modificando $p = 0,25$ en los diversos escenarios para $N = (500, 1500, 2500)$ con el umbral de tolerancia, μ , variando como se indicó y $\alpha = 0,5$
- 4 El valor de arranque para μ , varía por grupo en función de la grilla, mientras que en un grupo la intolerancia decrece en otro crece, con $N = 500$, $p = 0,5$, $\mu = (0,5, 0,6, 0,7, 0,8)$, y $\alpha = 0,5$

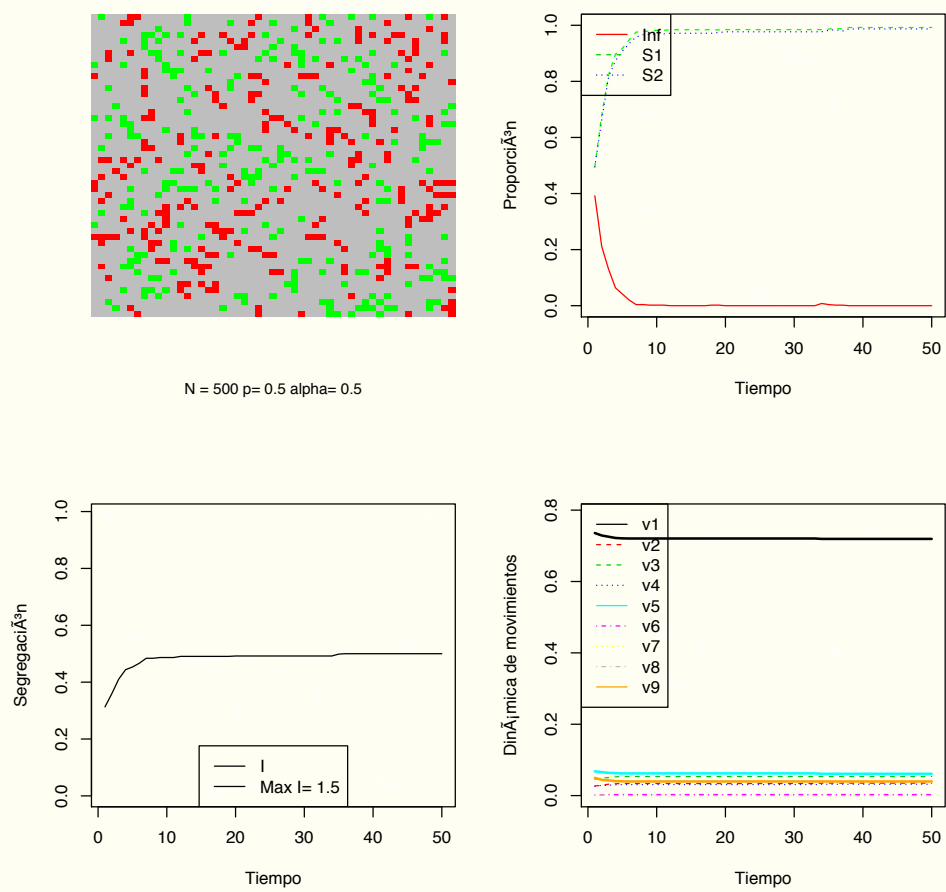


FIGURA 2: Escenario 1 Modelo 2

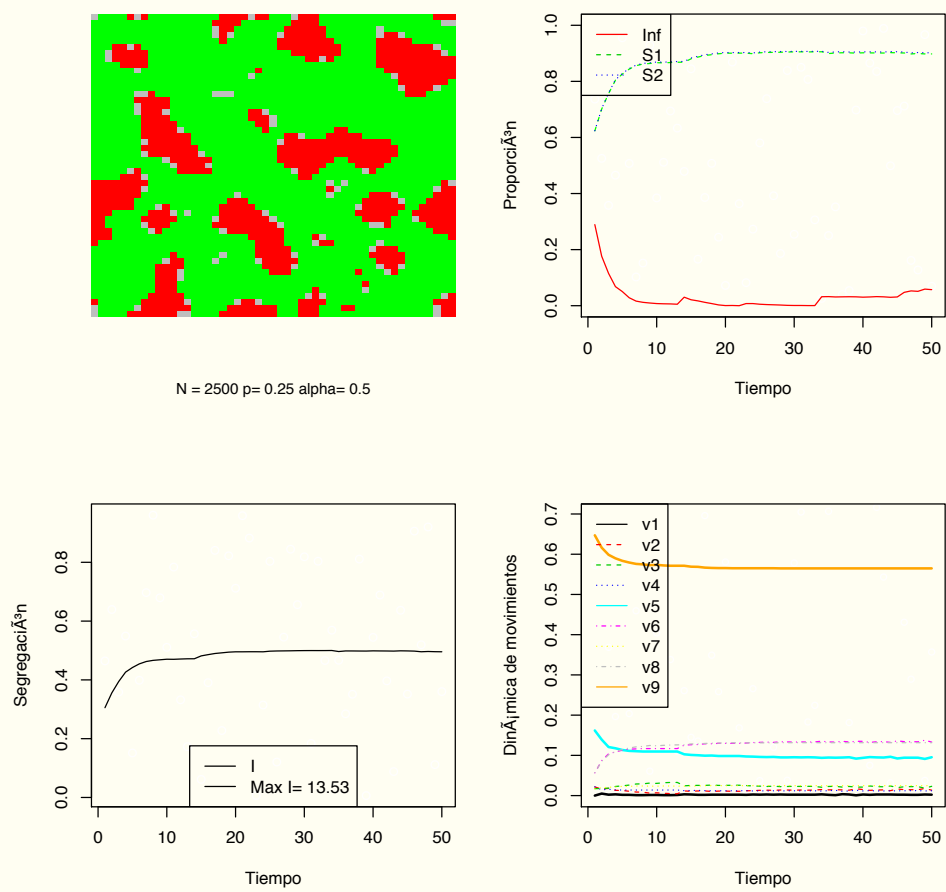


FIGURA 3: Escenario 2 Modelo 2

MODELO 3 - PREFERENCIAS ALEATORIAS

- 1 El parámetro μ se aleatoriza, sus valores provienen de una distribución $Beta(a,b)$. Se modifica $N = (500, 1500, 2500)$ y con ello la densidad de la ciudad, $p = 0,5$, $\alpha = 0,5$ fijos.
- 2 Se establece $p = 0,25$ y se permiten modificaciones en $N = (500, 1500, 2500)$ con μ con las mismas condiciones que en el punto anterior, $\alpha = 0,5$
- 3 Se consideran modificaciones en los parámetros de la distribución: $Beta(2,2)$, $Beta(2,3)$, $Beta(3,2)$ y $Beta(1,1)$.

Se observa una ciudad segregada de la Figura 4, lo que se corresponde con un índice I de 4.58 y un lento patrón de convergencia. En este escenario se dan gran cantidad de movimientos aunque los mayores valores se dan en los lugares que permanecen vacíos a lo largo de las iteraciones.

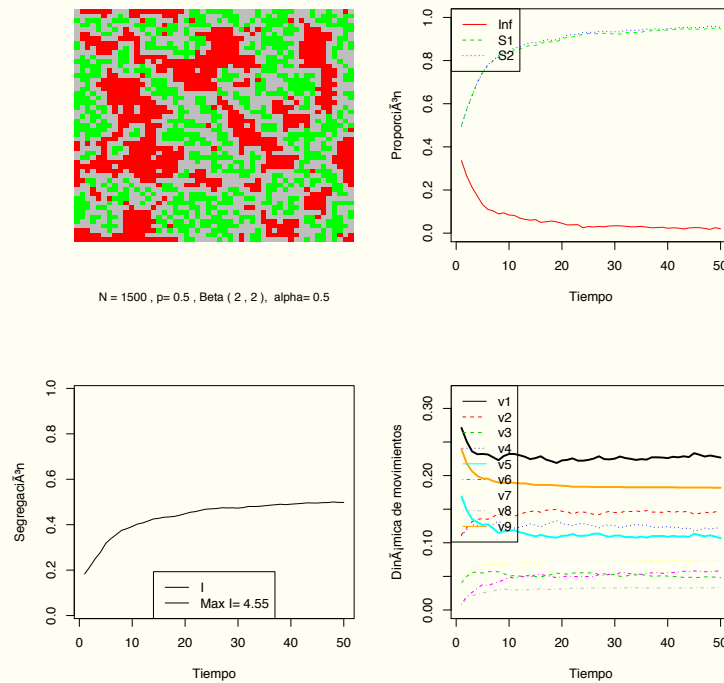


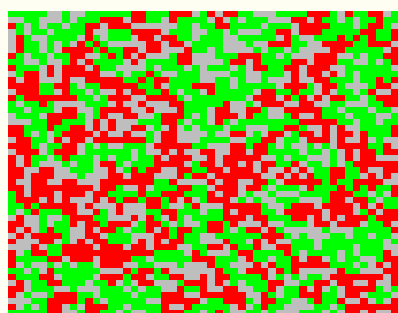
FIGURA 4: Escenario 1 Modelo 3

TABLA 2: Resumen de Escenarios

Modelo.1	máx I	Modelo.2	máx I	Modelo.3	máx I
$\mu = 0,6$ $N = 500$ $p = 0,5$	1,48	$\mu_1 = 0,3, \cdot, 0,6$ $\mu_2 = 0,6, \cdot, 0,3$ $N = 500$ $p = 0,5$	1,64	$\mu \sim B(2,2)$ $N = 500$ $p = 0,5$	1,43
$\mu = 0,6$ $N = 500$ $p = 0,25$	2,92	$\mu_1 = 0,3, \cdot, 0,6$ $\mu_2 = 0,6, \cdot, 0,3$ $N = 500$ $p = 0,25$	3,55	$\mu \sim B(2,2)$ $N = 500$ $p = 0,25$	3,19
$\mu = 0,6$ $N = 1500$ $p = 0,5$	3,89	$\mu_1 = 0,3, \cdot, 0,6$ $\mu_2 = 0,6, \cdot, 0,3$ $N = 1500$ $p = 0,5$	4,32	$\mu \sim B(2,2)$ $N = 1500$ $p = 0,5$	4,58
$\mu = 0,6$ $N = 1500$ $p = 0,25$	8,26	$\mu_1 = 0,3, \cdot, 0,6$ $\mu_2 = 0,6, \cdot, 0,3$ $N = 1500$ $p = 0,25$	9,19	$\mu \sim B(2,2)$ $N = 1500$ $p = 0,25$	8,12
$\mu = 0,6$ $N = 2500$ $p = 0,5$	4,025	$\mu_1 = 0,3, \cdot, 0,6$ $\mu_2 = 0,6, \cdot, 0,3$ $N = 2500$ $p = 0,5$	6,22	$\mu \sim B(2,2)$ $N = 2500$ $p = 0,5$	5,45
$\mu = 0,6$ $N = 2500$ $p = 0,25$	8,47	$\mu_1 = 0,3, ?, 0,6$ $\mu_2 = 0,6, \cdot, 0,3$ $N = 2500$ $p = 0,25$	13,43	$\mu \sim B(2,2)$ $N = 2500$ $p = 0,25$	10,3

MODELO 4 - PREFERENCIAS ALEATORIAS MICRO + FEEDBACK

En las figuras 5 y 6 se presenta el escenario donde los umbrales de tolerancia son altos, es decir la proporción inicial deseada de vecinos del mismo grupo es baja ($\mu = 0,25$). Los resultados presentados en 5 corresponden a un modelo sin feedback y muestran la evolución esperada: en pocas iteraciones todos los agentes alcanzan su nivel de satisfacción y no se alcanza un nivel de segregación significativo.



$N = 1800$, $p = 0.5$, Normal (0.25 , 0.1),

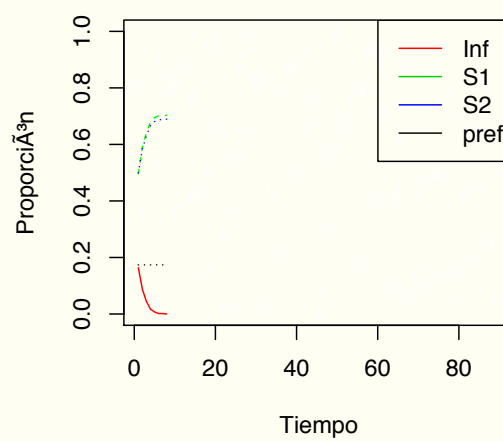


FIGURA 5: Modelo Sin Feedback para Umbral de Tolerancia Elevado

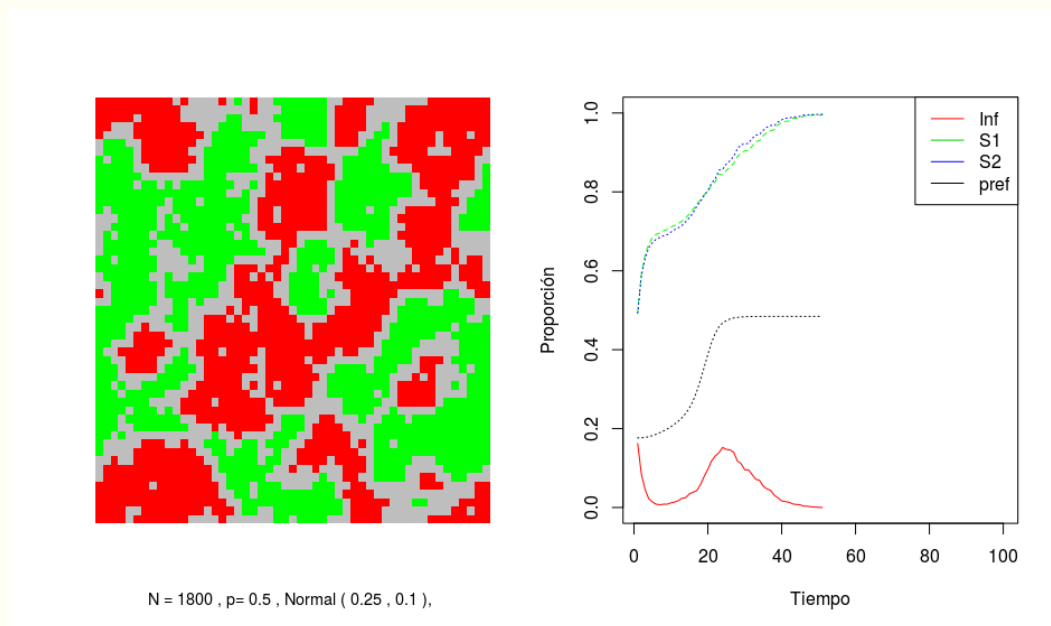
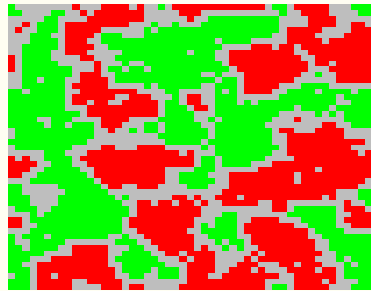


FIGURA 6: Modelo con Feedback para Umbral de Tolerancia (Inicial) Elevado

MODELO 4 - PREFERENCIAS ALEATORIAS MICRO + FEEDBACK

En las figuras 7 y 8 se puede ver que sucede cuando se parte de umbrales de tolerancia más bajos (μ inicial = 0.6) no existe tanta distancia en los niveles de segregación como en el caso anterior, pero la diferencia en el tiempo en el que se llega al mismo estadio es significativa. El promedio de 25 simulaciones de ambos modelos muestra que el modelo con feedback alcanza niveles muy similares de segregación en 3/4 partes del tiempo que le toma al modelo con feedback.



$N = 1800$, $p = 0.5$, Normal (0.65 , 0.1) ,

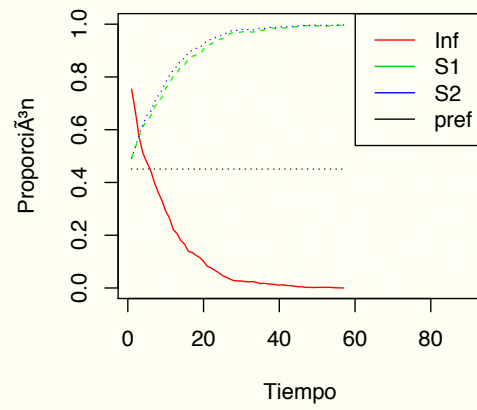


FIGURA 7: Modelo sin Feedback para Umbral de Tolerancia (Inicial) moderado

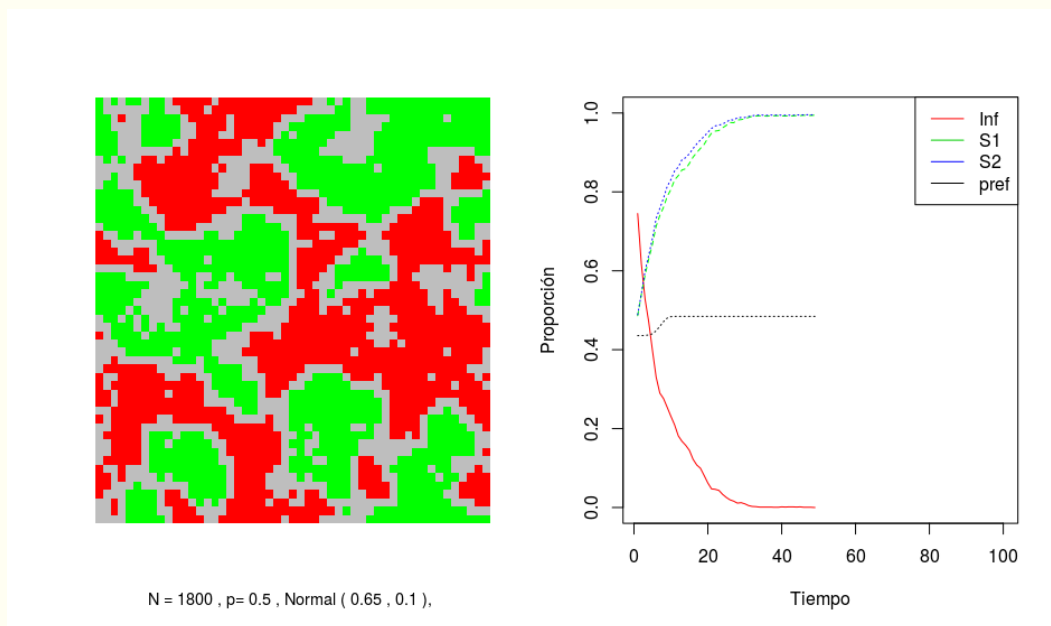


FIGURA 8: Modelo con Feedback para Umbral de Tolerancia (Inicial) moderado

COMENTARIOS FINALES

- La incorporación de preferencias individuales aleatorias, provenientes de una distribución específica $Beta(a,b)$ no profundiza necesariamente los resultados en términos de segregación obtenidos en las distintas calibraciones del segundo modelo (extensión) explorado.
- La inclusión de un mecanismo de retroalimentación a partir del cual los agentes se vuelven menos tolerantes a medida que la segregación se incrementa también produce una serie de resultados que pueden contribuir a la mejor comprensión de las dinámicas de segregación espacial.
 - 1 Por un lado, demuestra que si la reducción de oportunidades de intercambio entre las distintas clases/grupos/etnias que conviven en el espacio urbano conduce a la estereotipación y estigmatización mutua, entonces la formación de pequeños guetos, incluso en presencia de agentes inicialmente muy tolerantes, puede desencadenar un proceso que termine con un espacio urbano altamente segregado y con muy bajos niveles de tolerancia entre grupos.
 - 2 Por otro lado, y cuando se parte de una ciudad con agentes que ya exhiben menores niveles de tolerancia, la retroalimentación entre la segregación y las preferencias puede reducir significativamente el tiempo en el que se produce la segmentación en la ciudad.

CAMBIOS A CONSIDERAR

- Forma de vecindario, de tipo Von Neuman, el que solo considera a 4 vecinos circundantes en forma de una cruz de 4 puntos, dejando de lado, los vecinos que están en las respectivas diagonales del cuadrado de tamaño 3 que circunscribe al agente.
- Radio del vecindario.
- Otras distribuciones de probabilidad para el parámetro μ .

BIBLIOGRAFÍA

- [1] José Ignacio García-Valdecasas and Iván López. Un modelo basado en agentes para el análisis de la segregación étnica espacial urbana. *Revista de Geografía Norte Grande*, (67):145–165, 2017.
- [2] Nigel Gilbert. Varieties of emergence. In *Agent 2002 Conference: Social agents: ecology, exchange, and evolution*, Chicago, pages 11–12, 2002.
- [3] R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2015.
- [4] Thomas C Schelling. Dynamic models of segregation?. *Journal of Mathematical Sociology*, 1(2):143–186, 1971.
- [5] Flaminio Squazzoni. *Agent-based computational sociology*. John Wiley & Sons, 2012.
- [6] Li Yin. The dynamics of residential segregation in buffalo: An agent-based simulation. *Urban Studies*, 46(13):2749–2770, 2009.