



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
Facultad de Ciencias Económicas y de Administración
Instituto de Estadística

Extensiones al modelo de segregación de Schelling - primera parte -

**Gonzalo De-Armas
Silvia Rodríguez-Collazo
Ramón Álvarez-Vaz
Hugo Carrasco
Daniel Ciganda**

Abril, 2020

Serie Documentos de Trabajo

Nº 2/20 - ISSN : 1688-6453

Forma de citación sugerida para este documento:

Gonzalo De-Armas, Silvia Rodríguez-Collazo, Ramón Álvarez-Vaz, Hugo Carrasco, Daniel Ciganda (2020). Extensiones al modelo de segregación de Schelling, primera parte. Instituto de Estadística, Facultad de Ciencias Económicas y de Administración, Universidad de la República, Uruguay.

Extensiones al modelo de segregación de Schelling, primera parte.

Gonzalo De-Armas ¹, Silvia Rodríguez-Collazo, ² Ramón Álvarez-Vaz , ³ Hugo Carrasco
⁴ - *Departamento de Métodos Cuantitativos, Instituto de Estadística,*
Facultad de Ciencias Económicas y de Administración, Universidad de la República
Daniel Ciganda ⁵ - *Max Planck Institute for Demographic Research*

Resumen

El presente artículo presenta los primeros resultados de una serie de trabajos donde se proponen extensiones al modelo de segregación de Schelling, uno de los modelos clave en la génesis y desarrollo de los Modelos Basados en Agentes (MBA) y la Teoría de los Sistemas Complejos. En este primer trabajo se introduce el modelo de Schelling, se resumen algunas de las extensiones más relevantes que se han propuesto hasta el momento y se proponen 4 nuevas extensiones. Para monitorear los resultados de que cada modelo se utilizan un conjunto de indicadores o métricas que permiten evaluar el grado de segregación obtenido y la trayectoria seguida en cada caso. De estos ejercicios se desprenden un conjunto de resultados, por ejemplo, que la incorporación de preferencias individuales aleatorias, no necesariamente profundiza los resultados en términos de segregación. Por otro lado, la inclusión de un mecanismo de retroalimentación a partir del cual los agentes se vuelven menos tolerantes a medida que la segregación se incrementa genera dinámicas interesantes. En este escenario, 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, dando lugar a que la formación de pequeños guetos, incluso en presencia de agentes inicialmente muy tolerantes, pueda desencadenar un proceso que termine con un espacio urbano altamente segregado y con muy bajos niveles de tolerancia entre grupos. El trabajo utiliza el lenguaje de programación R para implementar el modelo, realizar las simulaciones y el análisis de escenarios. Todos los archivos necesarios para reproducir los resultados presentados están disponibles en: <https://gitlab.com/iesta.fcea.udelar/extensiones-al-modelo-de-segregacion-de-schelling> .

Palabras clave: Modelos computacionales, modelos basados en agentes, simulación, segregación espacial, Schelling.

¹ *email:* gonzalo.dearmas@iesta.edu.uy , ORCID: 0000-0002-4515-0649

² *email:* silvia@iesta.edu.uy , ORCID: 0000-0002-3871-6448

³ *email:* ramon@iesta.edu.uy , ORCID: 0000-0002-2505-4238

⁴ *email:* hugocarrasco66@gmail.com , ORCID:

⁵ *email:* ciganda@demogr.mpg.de ORCID: 0000-0002-6181-9947

CÓDIGOS JEL: C15 C63 J61

Clasificación MSC2010: 62P25 62-04 81-10

Abstract

This article introduces the first results from a series of works that propose extensions to Schelling's segregation model, one of the key models in the genesis and development of Agent-Based Models and Complex Systems Theory. In this first article we introduce the original model, summarize some of the existing extensions and propose four new ones. To monitor the results we use a set of indicators or metrics that allow evaluating the degree of segregation obtained and the trajectory followed in each case. These exercises provide a set of interesting results, for example, that the incorporation of individual random preferences does not necessarily increase the resulting segregation levels. On the other hand, the inclusion of a feedback mechanism by which agents become less tolerant as the segregation increases also produces a series of interesting dynamics. It is shown how, in a scenario in which the reduction of opportunities for exchange between the different classes / groups / ethnic groups that coexist in the urban space leads to stereotyping and mutual stigmatization, then the formation of small ghettos, even in the presence of agents which are originally very tolerant, can trigger a process that ends with a highly segregated urban space and with very low levels of tolerance between groups. We use the programming language R to implement the model, run the simulations and analyze the resulting scenarios. All the files needed to reproduce our results, can be found here: <https://gitlab.com/iesta.fcea.udelar/extensiones-al-modelo-de-segregacion-de-schelling>.

Key words: Computational modeling, agent-based modeling, simulation, spatial segregation, Schelling, R, reproducible.

JEL CODES: C15 C63 J61

Mathematics Subject Classification MSC2010: 62P25 62-04 81-10 .

1. Introducción

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*.

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.

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.

En su 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). En el modelo original 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.

Los agentes del modelo tienen la posibilidad de moverse de una parcela a otra, y este movimiento está determinado por el 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. Este umbral, que aquí designamos como u , constituye el parámetro central del modelo y 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.

Aunque el modelo puede ser analizado en distintas dimensiones, el resultado principal consiste en la demostración de que el nivel de segregación a nivel agregado tiende a ser *mayor* al que hubiera podido preverse conociendo las preferencias individuales de los agentes. Es decir, que 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 exclusiva-

mente por las preferencias personales, sino también por la dinámica de los movimientos *del conjunto* de agentes en determinada área.

2. Extensiones al Modelo de Schelling

La simplicidad del modelo de Schelling es una de sus mayores fortalezas pero también una limitación importante, dado que excluye necesariamente una serie de dinámicas que son también claves en la explicación de los patrones de segregación urbana. Esto ha dado lugar a un gran número de extensiones al modelo original que, de acuerdo a Squazzoni (Squazzoni, 2012), pueden clasificarse en dos grandes categorías: 1) El análisis de sensibilidad de los resultados originales a una variedad de modificaciones (cuantitativas y cualitativas) de los parámetros del modelo; 2) La utilización de las dinámicas centrales del modelo en otros dominios del mundo social y natural.

A estas categorías podría agregarse una tercera variante con las extensiones que proponen dinámicas/relaciones adicionales a las implementadas en el modelo original con el objetivo de acercar el modelo a la realidad o iluminar nuevas dimensiones del fenómeno de la segregación espacial. Otra manera interesante en la que se ha intentado acercar el modelo a la realidad es utilizando datos empíricos para calibrarlo (Yin, 2009).

Uno de los ejemplos del tercer tipo de extensiones, la incorporación de dinámicas no contempladas en el modelo original, se presenta en (García-Valdecasas y López, 2017). En este trabajo 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. Los autores de éste trabajo encuentran que para densidades bajas la segregación es independiente del tamaño de los grupos mientras que para densidades intermedias la segregación aumenta cuando la distancia en el tamaño de los grupos aumenta. Para densidades altas, sin embargo, los autores encuentran que la segregación se incrementa cuando el tamaño de los grupos étnicos tiende a aproximarse.

Otra modificación interesante propuesta en (García-Valdecasas y López, 2017) tiene que ver con las preferencias de los agentes. La representación original, donde cada uno de los agentes tiene el mismo nivel de tolerancia con respecto a la composición de su vecindario es uno de los supuestos más cuestionables del modelo ya que no contempla la heterogeneidad en las preferencias de los individuos. Una de las posibles soluciones consiste en asumir que las preferencias tienen una distribución determinada y asignar aleatoriamente a los agentes preferencias provenientes de dicha distribución. En (García-Valdecasas y López, 2017) se asume que esta distribución es normal y se explora la sensibilidad del modelo a la variación en la media de dicha distribución.

Si bien, como se mencionó antes, Schelling ilustra con mucha claridad cómo una estructura

macro como la segregación puede emerger de las acciones e interacciones de los individuos a nivel micro, el modelo original no contempla la posibilidad de que la estructura emergente también ejerza un efecto sobre las acciones de los individuos. Este carácter recursivo de la acción social es de hecho la forma en que en la teoría sociológica se ha encontrado una síntesis para el antiguo debate entre estructura y acción (Bourdieu, 1977; Giddens, 1991).

De hecho, en (Gilbert, 2002) se presenta una implementación de este feedback entre el nivel micro y macro que el autor denomina “estructuras emergentes de segundo order”. En este caso se asume que los agentes tienen la capacidad de interiorizar algunos procesos emergentes en el sistema y actuar en consecuencia. Este feedback es incorporado junto con otras modificaciones que incluyen una redistribución de recursos desigual entre los grupos, la capacidad de moverse solo a locaciones que estén al alcance de los agentes de acuerdo a sus recursos, y 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 este trabajo se van a explorar algunas extensiones similares a las mencionadas anteriormente, como la asignación aleatoria de preferencias proveniente de una distribución de probabilidad determinada, la posibilidad de existencia de minorías/mayorías, la incorporación de un mecanismo de retroalimentación entre los niveles micro y macro así como la presencia de un tercer agente. Además se proponen una serie de indicadores para monitorear el estado del sistema a cada momento de la simulación y facilitar la interpretación de los resultados. En la siguiente sección se describen en más detalle las modificaciones propuestas y su interpretación en términos del comportamiento de los agentes.

3. Descripción de los Modelos

En las siguientes secciones se exploran los resultados provenientes de diferentes tipos de extensiones al modelo de Schelling.

3.1. Modelo 1

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.

Este primer modelo cuenta con 5 parámetros:

- 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 cantidad de iteraciones t

A diferencia de los otros modelos en este caso el umbral de tolerancia *inicial* es fijo y el modelo puede representarse a través de la siguiente función:

Modelo 1 → El parámetro de tolerancia permanece fijo

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

3.2. Modelo 2

El segundo modelo recibe los mismos inputs que el primero, pero el umbral de tolerancia cambia durante la simulación. La función correspondiente a este modelo es (2),

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

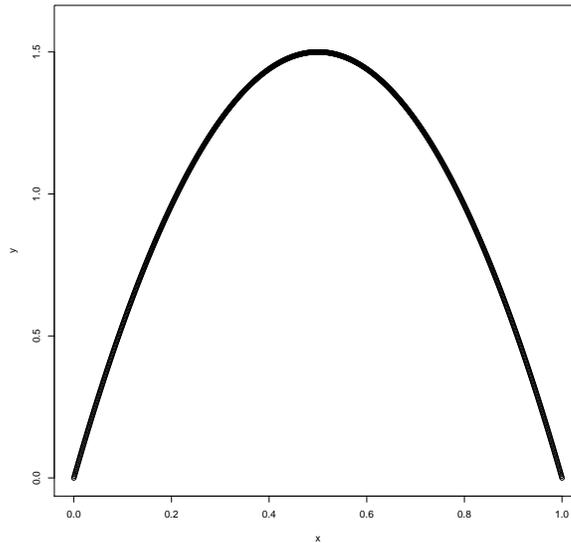
$$f_2(T, N, p, t, \mu) \quad (2)$$

donde 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.

3.3. Modelo 3

Este modelo especifica la tolerancia como una variable aleatoria, esa variable sigue una distribución $Beta(a, b)$. De acuerdo a esta distribución se asignan las preferencias de los agentes.

Modelo 3 → tolerancia aleatoria macro

Figura 1: Densidad de una $Beta(2,2)$

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

En este modelo la distribución de probabilidad seleccionada es una distribución $X \sim Beta(a, b)$, donde a es el parámetro de escala y b de forma.

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.

Sea $X \sim Beta(a, b)$, su esperanza es $E(X) = \frac{a}{a+b}$ y su varianza $V(X) = \frac{a*b}{(a+b)^2(a+b+1)}$.

3.4. Modelo 4

Por último se implementa un modelo donde los agentes tienen la capacidad de incorporar información proveniente del nivel macro y ajustar sus preferencias en consecuencia. Más específicamente, el umbral de intolerancia de los agentes tiende a aumentar a medida que la segregación crece en la ciudad. El mecanismo que se intenta representar es la 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

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

donde 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.

Como se observa en 2 a niveles moderados de segregación el multiplicador no afecta significativamente las preferencias, pero a medida que la segregación se acerca a niveles elevados, los grupos dejan de tener contactos frecuentes y las opiniones negativas hacia otros grupos se retrolimentan en comunidades cerradas, su influencia crece. Niveles máximos de segregación implican un aumento del 30% de la proporción de agentes similares que determinado agente necesita en su vecindario para encontrarse satisfecho. El nivel máximo de esta proporción se limita a 0.75, umbral a partir del cual el modelo tiende a no converger.

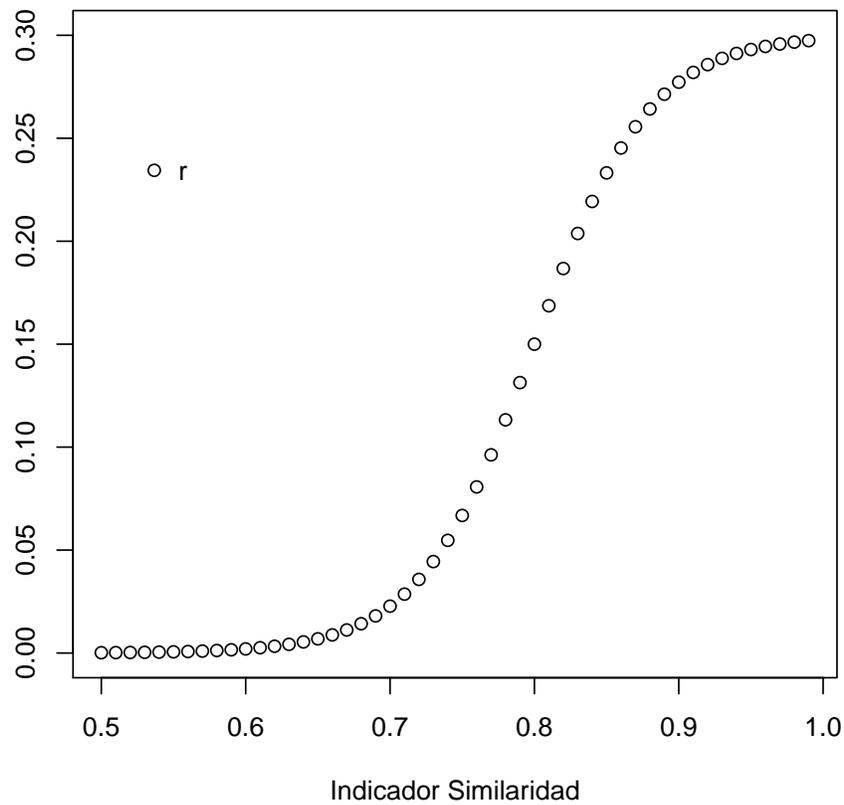


Figura 2: Multiplicador Preferencias

3.5. Herramientas para interpretar los resultados

Para poder interpretar los resultados del proceso de simulación, se escogen dos tipos de herramientas, las gráficas y el seguimiento de los siguientes indicadores:

- Proporción de agentes insatisfechos (U)
- Índice de similitud (s)
- Índice de disimilaridad (I)

Indicadores de similaridad: Se calculan dos índices que representan dos métricas a través de las cuales se cuantifica la similaridad. Estos índices se anotan como s_1 y s_2 . 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 (García-Valdecasas y López, 2017).

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

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 .

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

Otra dimensión de la disimilaridad se recoge a través del índice I , presentado en (García-Valdecasas y López, 2017) y se define como:

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

Es una 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.

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.

Se observa la segregación residencial exclusivamente desde dos dimensiones, la concentración espacial de los grupos y la homogeneidad social de las áreas. Se dice que un grupo está **concentrado** si todos o casi todos sus miembros residen en el mismo lugar. Por otro lado la homogeneidad refiere al grado en que el territorio está habitado por personas del mismo grupo, un **territorio es homogéneo** si todos o casi todos pertenecen al mismo grupo. Que un grupo esté concentrado en un cierto territorio no es contradictorio con que en ese territorio vivan personas de un grupo diferente. Hay concentración, no homogeneidad. Estos aspectos no se miden conjuntamente en los indicadores implementados, pero

estas dos dimensiones se pueden captar a través del gráfico que representa la ubicación espacial final de los agentes.

A los efectos de cuantificar la 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 1 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

Los nombres que figuran en la celdas de la Tabla 1 se corresponden con las leyendas del gráfico correspondiente. 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 1 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).

Todos los modelos fueron implementados en R (R Core Team, 2019)

4. Resultados

En lo que sigue se presentan los resultados más interesantes a juicio de los autores de este trabajo.

4.1. Modelo 1 - Minorías

1. 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.
2. Se realizan las simulaciones cambiando $p = 0,25$ y fijando el resto de los parámetros en: $N = (500, 1500, 2500)$ con $\mu = 0,6$, $\alpha = 0,5$

Se presentan a continuación algunos resultados de las corridas.

4.1.1. Escenario 1

$N=500$; $\mu=0.6$; $\alpha=0.5$; años=50; densidad =0.192; $p=0.5$; $N_1=250$; $N_2=250$

En el arranque hay 9 por ciento de agentes del grupo 1 y 9 por ciento del grupo 2 y mucho espacio libre en la ciudad (0.81), dado el nivel de densidad.

En el gráfico de arriba y a la izquierda de la Figura 3 se representa como queda al final de las iteraciones la distribución espacial de los agentes de esta ciudad.

Se grafican los índices s_1 y s_2 e I para cada una de las 50 corridas y se presentan en el subgráfico superior a la derecha y abajo a la izquierda de la imagen bajo la forma de gráfico de líneas mostrando la evolución y convergencia de los índices.

En el gráfico de abajo a la derecha de la Figura 3 se visualizan los movimientos que realizaron los agentes en el proceso.

El resultado de esta calibración de parámetros es una ciudad poblada con baja densidad, dos grupos de agentes con umbrales de tolerancia muy distintos pero equilibrados en número, esto es, sin minorías, lo que da lugar a una ciudad sin patrones de segregación y pocos movimientos. El índice I toma un valor máximo bajo, de 1.41

La representación gráfica de los resultados se muestra a continuación.

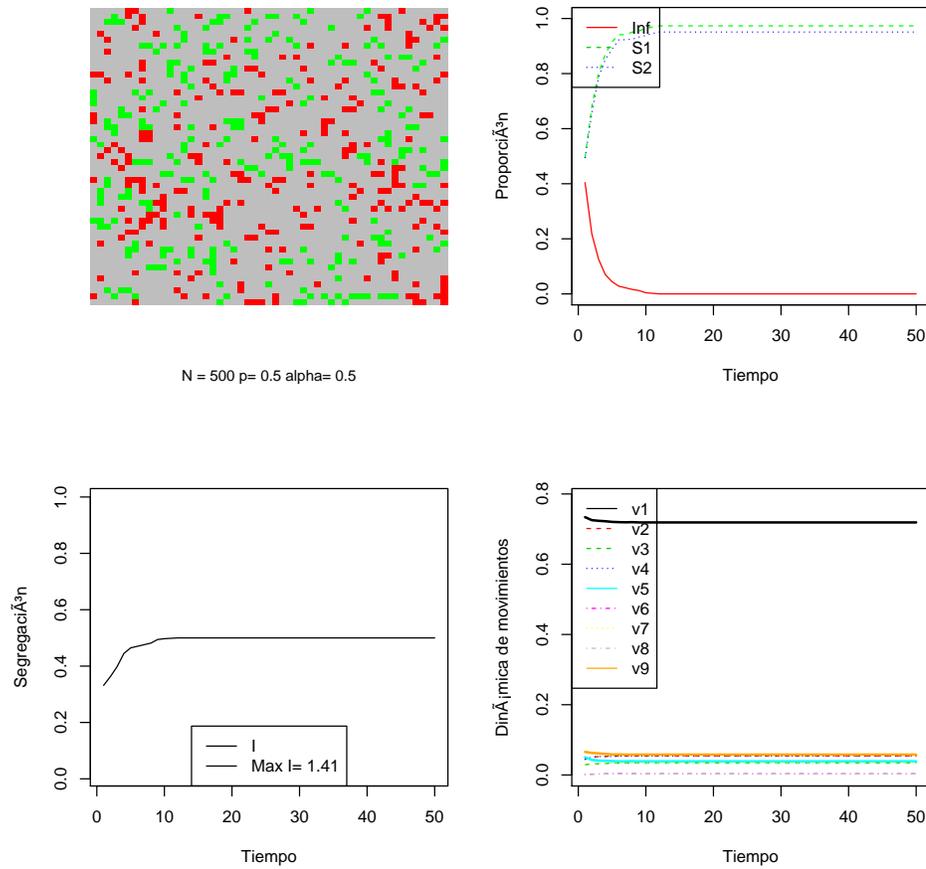


Figura 3: Escenario 1 Modelo 1

4.1.2. Escenario 2

$N=1500$; $\mu=0.6$; $\alpha=0.5$; años=50; densidad =0.577; $p=0.5$; $N_1 = 750$; $N_2 = 750$

En los gráficos se puede observar el incremento de la segregación tanto en el gráfico que muestra la distribución de los agentes en la ciudad como el incremento del índice I llegando a un máximo de 3.93, se converge en aproximadamente 10 iteraciones. Se observan más movimientos de los agentes. s_1 y s_2 toman valores inferiores a los tomados en la corrida mostrada previamente.

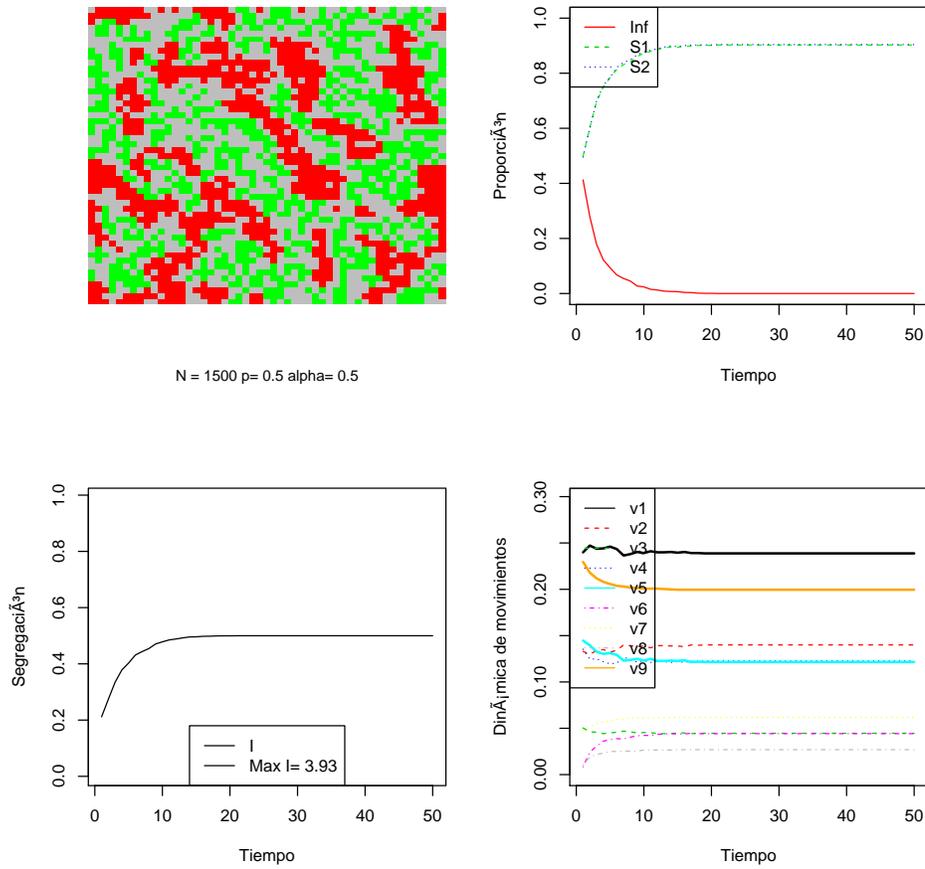


Figura 4: Escenario 2 Modelo 1

4.1.3. Escenario 3

$N = 1500$; $\mu = 0,6$; $\alpha = 0,5$; años = 50; densidad = 0.577; $p = 0,25$; $N_1 = 375$; $N_2 = 1125$

Se pueden observar niveles de segregación y se puede observar la formación de grupos, los agentes minoritarios, en la distribución espacial. El índice I toma un valor máximo de 8.2, la convergencia requiere mayor número de iteraciones en los índices I , s_1 y s_2 . En cuanto a los movimientos, los valores más altos se dan en los agentes del grupo 2 que no se mueven y los lugares vacíos que no son ocupados al fin de las iteraciones.

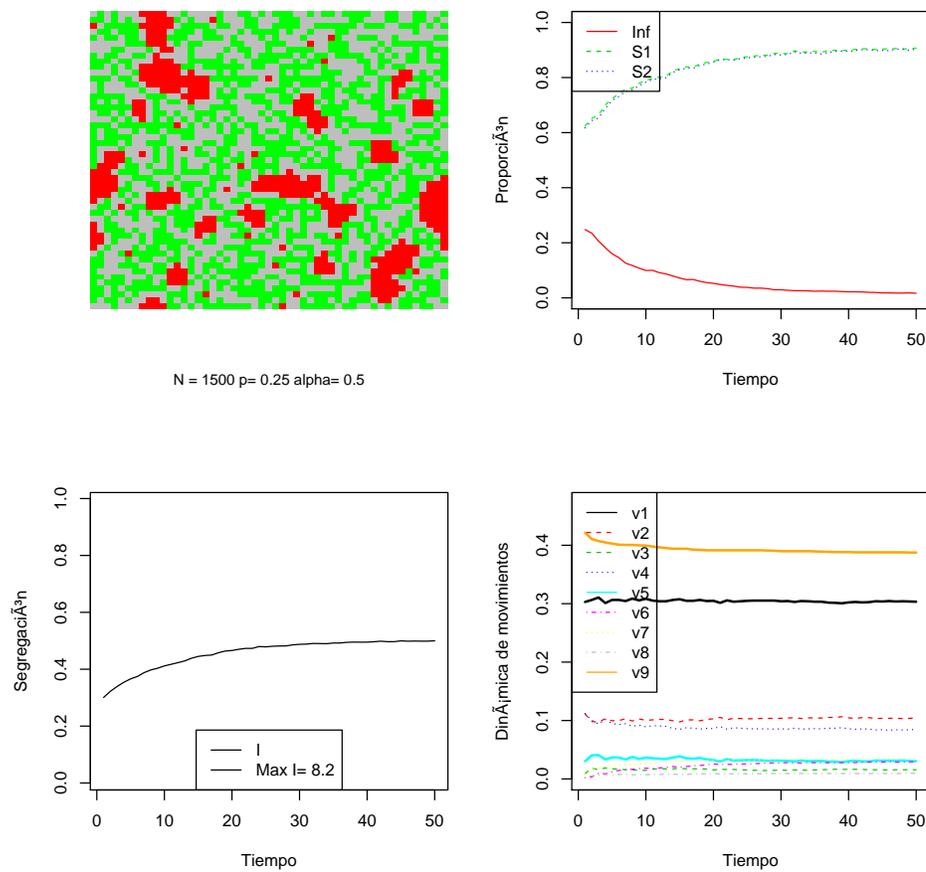


Figura 5: Escenario 3 Modelo 1

4.1.4. Escenario 4

$N=2500$; $\mu = 0,6$; $\alpha = 0,5$; años=50; densidad =0.961; $p = 0,25$; $N_1=625$; $N_2=1875$

Se llega a una ciudad con segregación espacial aunque el índice I toma un valor máximo de 8.47. La convergencia se obtiene muy rápidamente. Los índices s_1 y s_2 son mucho más bajos que en las corridas mostradas anteriormente y los niveles de insatisfacción nunca llegan a anularse, sino que durante casi todas las iteraciones permanecen constantes en 0.235.

Aunque la densidad de la ciudad de incrementón, la fijación de una minoría evitón la conformación de grupos homogéneos de gran dimensión, pero nunca se alcanzón la satisfacción de todos los agentes.

4.2. Modelo 2 - Umbral de tolerancia variable

En esta modelización, se establece una grilla de valores que indican como se modifican en el tiempo. A través de los escenarios se van modificando los parámetros de acuerdo a las siguientes pautas:

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 $\alpha = 0,5$

4.2.1. Escenario 1

$N=500$; μ =grilla; $\alpha=0.5$; años=50; densidad =0.192; $p=0.5$; $N_1=250$; $N_2=250$

La baja densidad de la ciudad y lo equitativo del tamaño de los grupos hace que se den pocos movimientos, en pocas iteraciones se logre la convergencia, llegándose niveles de insatisfacción nulos, rápidamente. El valor máximo de I , es reducido 1.66. Las modificaciones marginales que se dan en los niveles de intolerancia que están en la grilla no logran revertir dos factores: la baja densidad y lo equitativo del tamaño de los grupos.

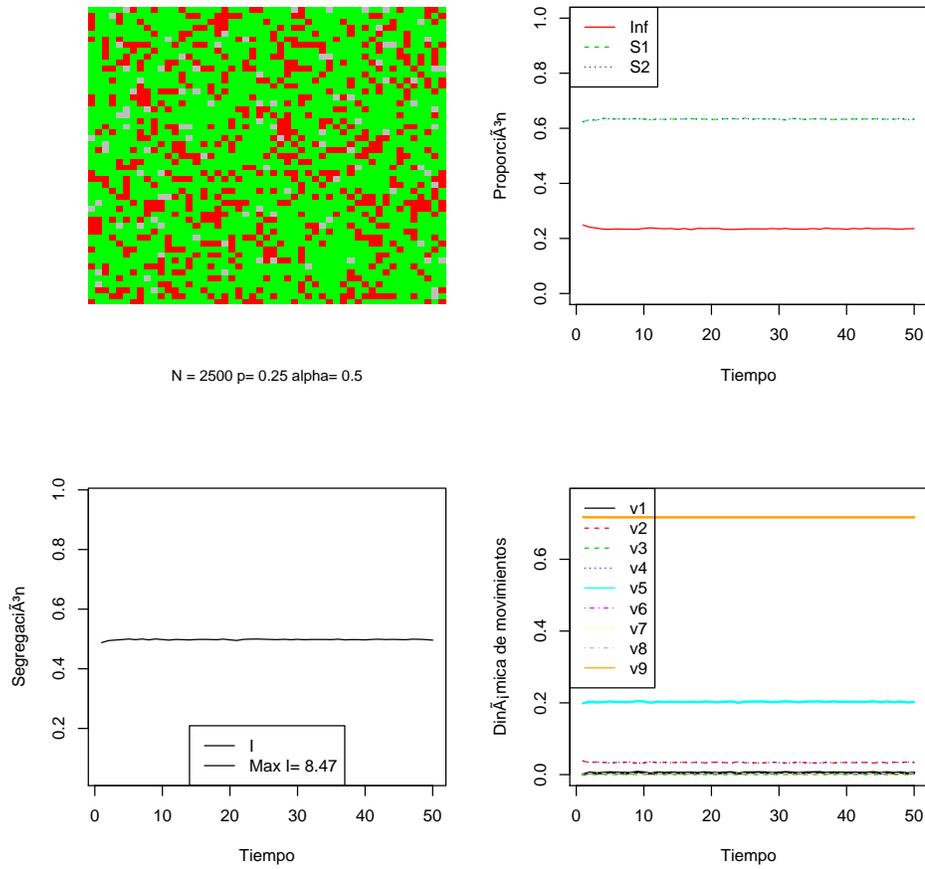


Figura 6: Escenario 4 Modelo 1

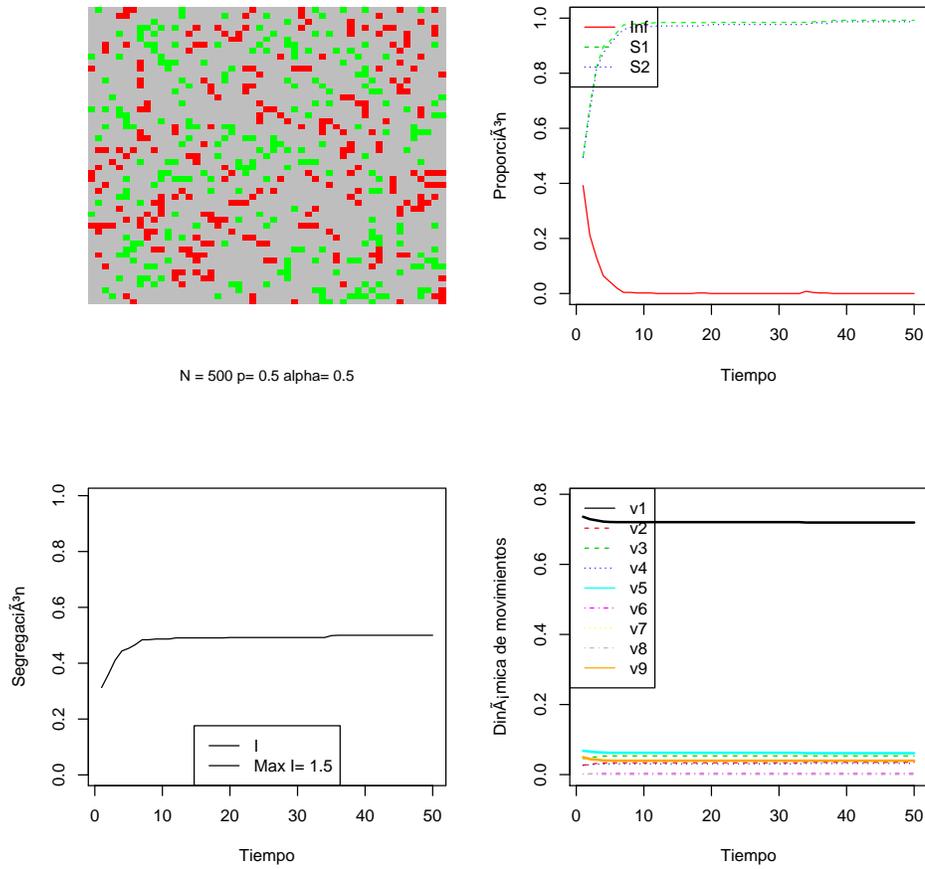


Figura 7: Escenario 1 Modelo 2

4.2.2. Escenario 2

$N=2500$; $\mu=grilla$; $\alpha=0.5$; años=50; densidad =0.96; $p = 0,25$; $N_1 = 625$; $N_2 = 1875$

Este escenario representa condiciones opuestas al anterior: el incremento de la densidad y la inclusión de un grupo minoritario dio como resultado: altos niveles de segregación, conformación de grupos homogéneos de los agentes minoritarios de tamaño medio distribuidos en la ciudad. Bajo estas condiciones, el índice I toma un valor máximo de 13.44. Se obtienen bajos niveles de insatisfacción y una dinámica de movimientos escalonados.

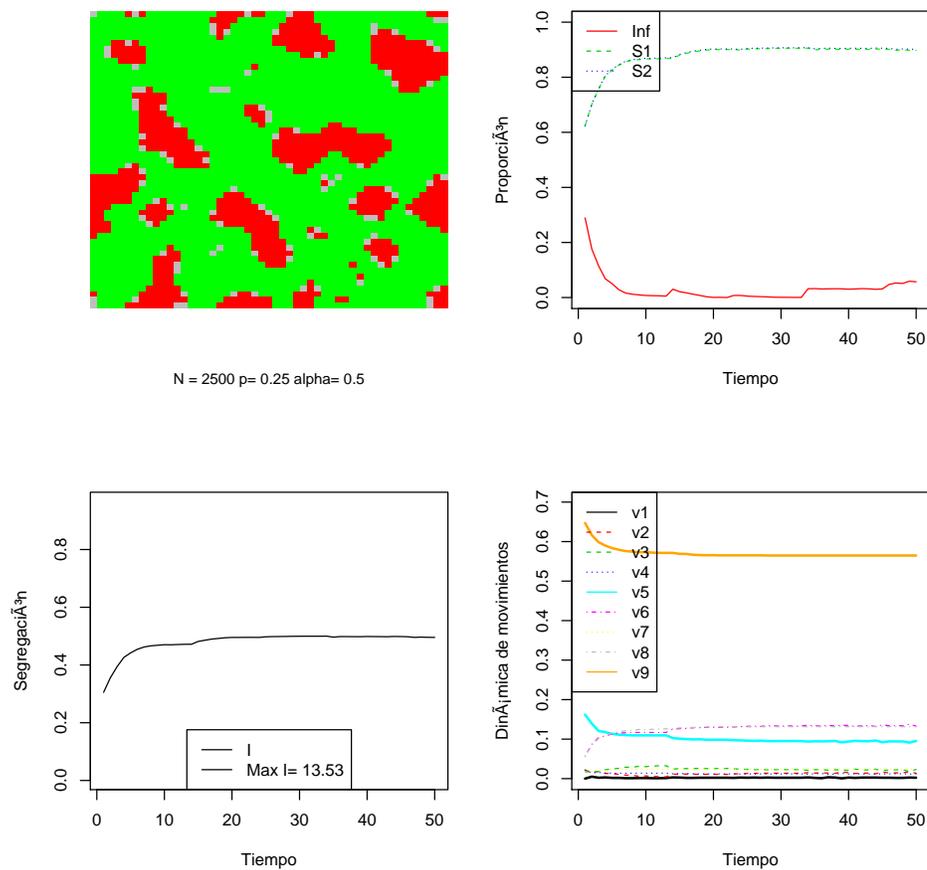


Figura 8: Escenario 2 Modelo 2

4.3. Modelo 3 - Preferencias aleatorias

En esta modelización, se aleatorizan las preferencias y se asignan a cada agente a partir de una distribución $Beta(a, b)$. A través de los escenarios se modifican los parámetros de acuerdo a las siguientes pautas:

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 $Beta(1,1)$.

4.3.1. Escenario 1

$N=1500; \mu \sim Beta(2,2); \alpha=0.5; \text{años}=50; \text{densidad}=0.577; p = 0,5; N_1 = 750; N_2 = 750$

Se observa una ciudad segregada en la Figura 11, 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.

4.3.2. Escenario 2

$N=2500; \mu \sim Beta(2,2); \alpha=0.5; \text{años}=50, p=0.5$

Se incrementa la segregación, el índice I cuyo máximo es ahora 5.46. No se obtiene la convergencia ni se logra en las 50 iteraciones llegar a niveles de insatisfacción nulos. En cuanto a la dinámica los mayores niveles refieren al mantenimiento de parcelas vacías y las parcelas ocupadas por agentes Tipo 1 que continúan ocupadas por agentes Tipo 1. Se obtienen grupos más homogéneos y de mayor dimensión.

4.3.3. Escenario 3

$N=1500; \mu \sim Beta(3,2); \alpha=0.5; \text{años}=50$

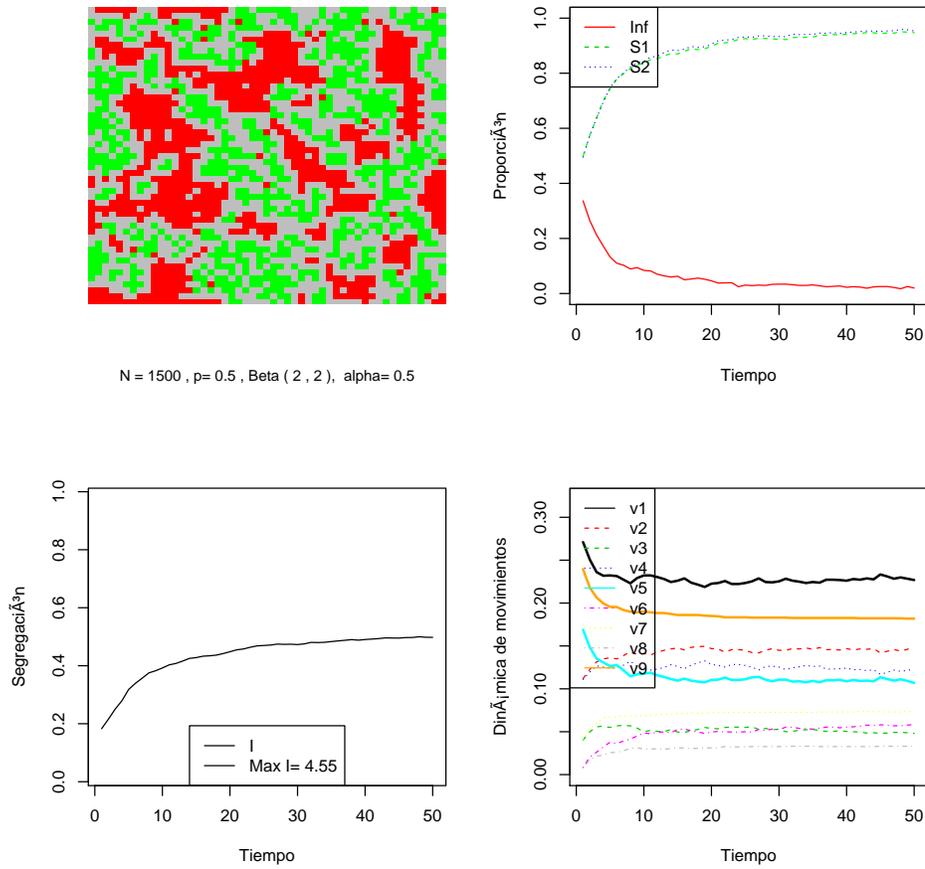


Figura 9: Escenario 1 Modelo 3

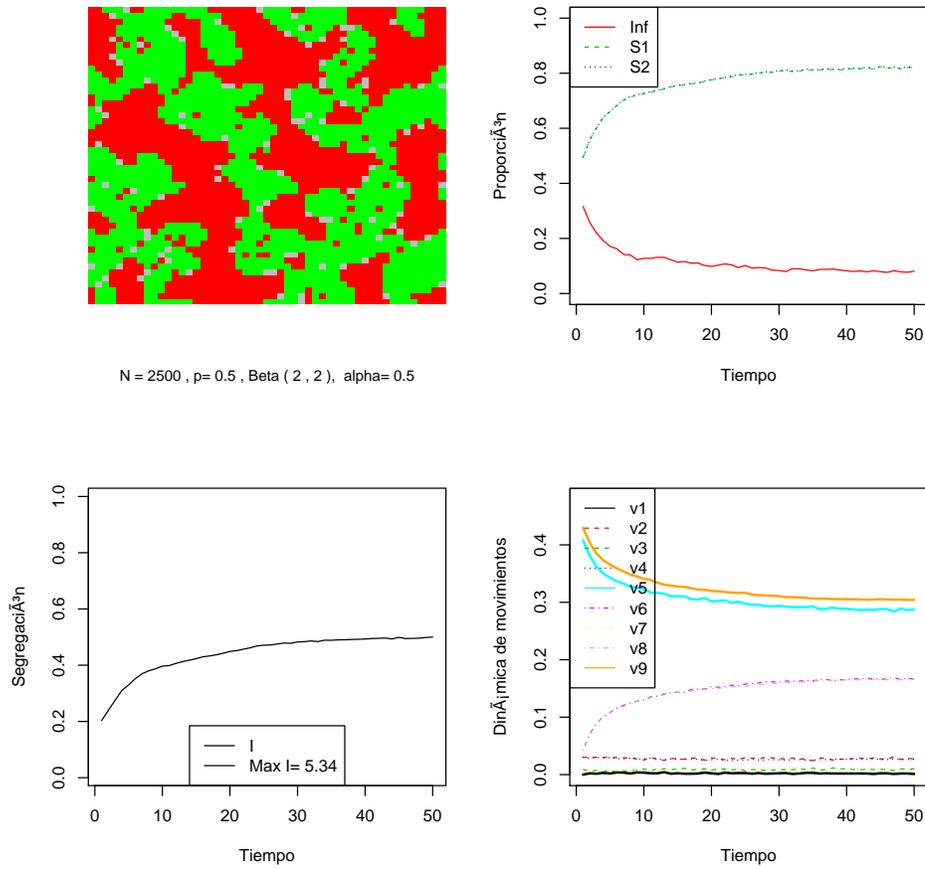


Figura 10: Escenario 2 Modelo 3

De acuerdo a las condiciones establecidas en este escenario se llega a una ciudad con segregación, un nivel máximo del índice I de 4.63 y con intensos movimientos a lo largo de las iteraciones.

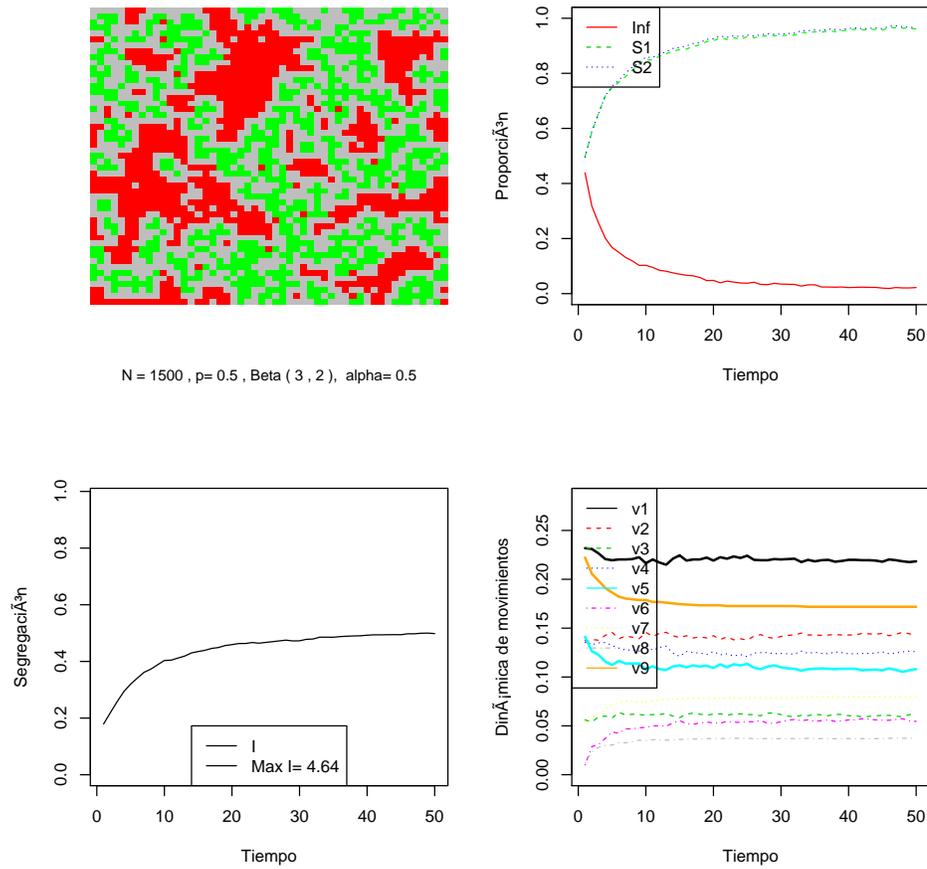


Figura 11: Escenario 3 Modelo 3

4.4. Modelo 4 - Preferencias aleatorias micro + feedback

La incorporación de un mecanismo de retroalimentación entre el umbral de intolerancia y la segregación produce resultados interesantes, fundamentalmente a valores iniciales extremos en relación a las preferencias. En las Figuras 14 y 15 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 la Figura 14 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.

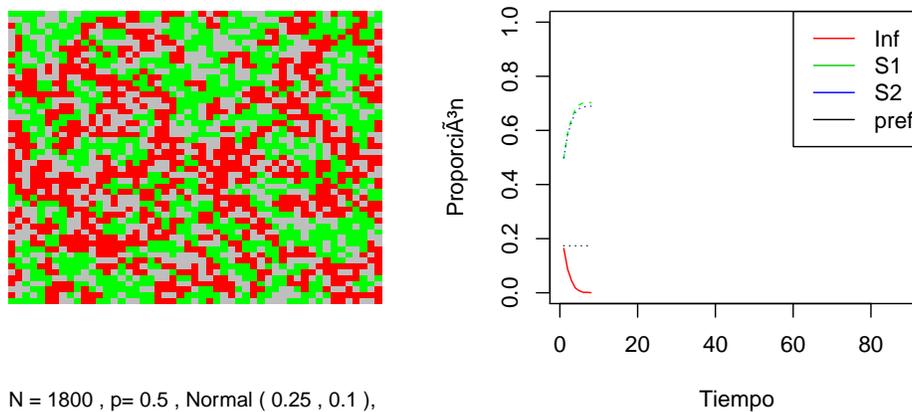
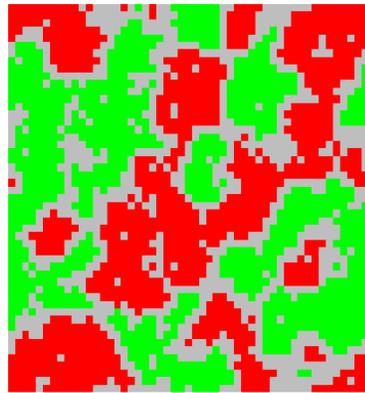


Figura 12: Modelo Sin Feedback para Umbral de Tolerancia Elevado

Cuando se incorpora el mecanismo de retroalimentación los resultados son muy distintos. Si bien el modelo comienza en una trayectoria similar al modelo sin feedback, el nivel de segregación que se produce en estas primeras iteraciones es, aunque bajo, suficiente para que los umbrales de tolerancia disminuyan, más agentes se encuentren insatisfechos y su sucesivos movimientos generen un nivel elevado de segregación y un incremento en las preferencias por vecinos del mismo grupo (en negro en el panel derecho en ambas figuras). El resultado final es un nivel de segregación muy superior en comparación al alcanzado con la misma parametrización pero sin el mecanismo de retroalimentación micro-macro.

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



$N = 1800, p = 0.5, \text{Normal} (0.25, 0.1)$

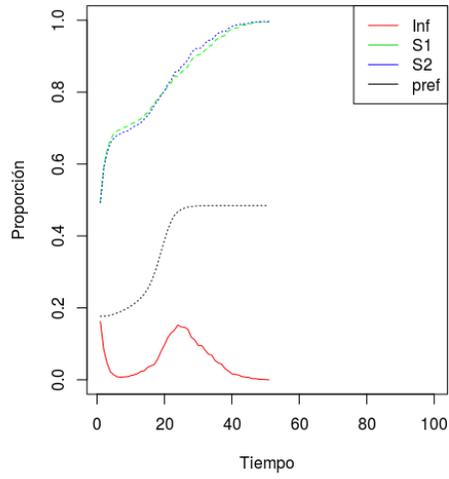
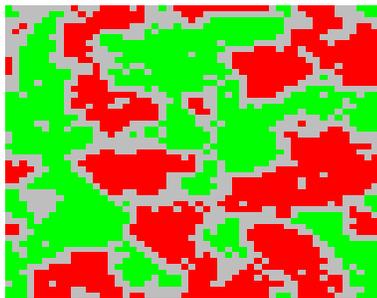


Figura 13: Modelo con Feedback para Umbral de Tolerancia (Inicial) Elevado



$N = 1800, p = 0.5, \text{Normal} (0.65, 0.1)$

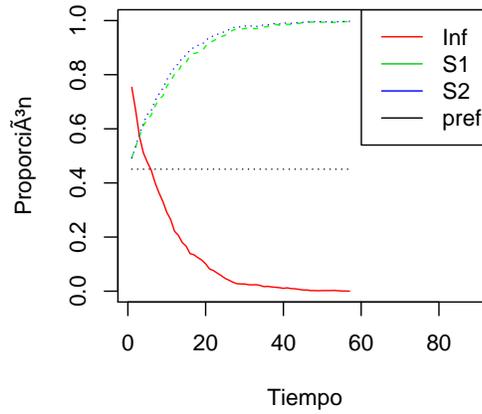


Figura 14: Modelo sin Feedback para Umbral de Tolerancia Moderado

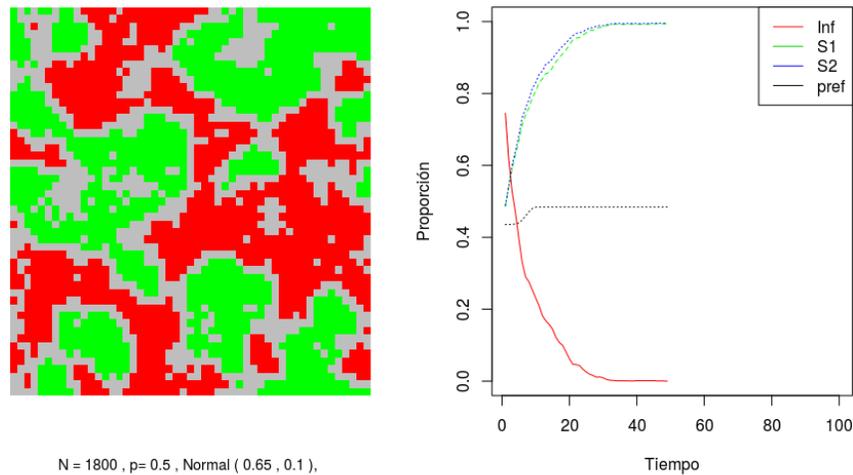


Figura 15: Modelo con Feedback para Umbral de Tolerancia (Inicial) Moderado

segregación en 3/4 partes del tiempo que le toma al modelo con feedback.

4.5. Discusión

Si se hace foco en los parámetros que representan: N , la cantidad de agentes en la ciudad y su contracara, la densidad, la media de las preferencias de los agentes, la existencia o no de minorías y variaciones de la forma como se asignan las preferencias de los agentes en cada iteración, desde que sean fijas, tomen valores variables en el tiempo como que asuman valores provenientes de una distribución, todo ello se puede esquematizar en la última tabla que resume un conjunto de escenarios.

Se encuentran resultados esperables en términos de que al aumentar la densidad de población en la ciudad, se obtienen mayores índices de segregación (tomando al índice I como un indicador de segregación). Adicionalmente la inclusión de minorías con igual nivel de preferencia por iguales que los agentes de la mayoría, incrementa también el índice de segregación.

Al modificar los niveles de preferencia por grupo, convertirlos en variables en el tiempo mediante una grilla que arranca en 0.3 y llega hasta 0.6 en un grupo y viceversa en el otro grupo, esto es esos dos grupos modifican en sentidos contrarios sus preferencias por vecinos iguales a lo largo del tiempo (iteraciones, en este caso = 50), los niveles de segregación son mayores a los obtenidos en el Escenario 1 en todos los casos.

En cambio cuando se asigna el nivel de preferencias por iguales como resultado de una distribución Beta(2,2), en el Escenario 3, los niveles de segregación a los que se llega son menores a los del escenario 2 y mayores cuando los niveles de densidad son próximos a 90 por ciento, $N=2500$, pero menores cuando $N=500$ y $N=1500$. Por tanto la aleatoriedad de la variable rompe la regularidad obtenida previamente.

Tabla 2: Resumen de Escenarios

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

5. Comentarios finales

En este trabajo se implementó un conjunto de variantes al modelo original de Schelling que principalmente se centran en dotar de diferentes valores a las preferencias de los agentes pasando de fijas a variables con movimientos contrapuestos entre grupos y preferencias aleatorias. Se diseñan ciudades con diversos niveles de densidad e incorporar la opción de grupos minoritarios.

Estos cambios se implementaron en el sistema R (R Core Team, 2019) y los resultados se reportaron bajo la forma de indicadores y representación gráfica de los indicadores o

métricas de segregación, así como la representación gráfica de los movimientos que se dan en cada parcela.

De estos ejercicios se desprenden un conjunto de resultados interesantes, por ejemplo, que 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. 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.

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. Aunque este escenario reporta menor interés teórico dado que los resultados que se alcanzan en presencia/ausencia del feedback son similares, si presenta una validez de carácter práctico dado que los tiempos de los procesos urbanos son claves para casi cualquier consideración vinculada al diseño de políticas.

6. Consideraciones a futuro

Se plantea como consideraciones a futuro el poder implementar el cambio en la forma de vecindario y el radio del mismo. Por ejemplo considerar un 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. A su vez se proponen otras distribuciones de probabilidad para el parámetro μ , ya que se vió que los resultados no cambian drásticamente.

Además los autores es este trabajo consideran que hay otras alternativas en donde considerar hacer el modelo básico de Schelling mas realista. Por ejemplo suponer que hay mas de 2 grupos en competencia, donde se pueden suponer escenarios donde por ejemplo dejar que si son 3 los grupos en competencia, la cantidad de individuos en cada grupo varien libremente, donde se puede asumir el comportamiento de una distribución multinomial de 3 categorías, o por otra parte acotar la proporción de una de las categorías en una rango inferior al $(0, 1)$, por ejemplo $(0,1; 0,9)$, lo que estaría generando una especie de jerarquía, al tener siempre un grupo minoritario.

También los autores tienen claro que esta competencia cualquiera sea las reglas de juego (tolerancia, densidad), se está dejando de lado un aspecto que es clave y es el de considerar que los movimientos tiene restricciones económicas, donde se pueden establecer variadas funciones de costo asociadas a la decisiones de moverse o no, aspectos que también deberían de considerar los agentes en forma conjunta con la tolerancia y la densidad.

Referencias Bibliográficas

- Bourdieu, P. (1977). *Outline of a Theory of Practice*, volumen 16. Cambridge university press.
- García-Valdecasas, J. I. y López, I. (2017). Un modelo basado en agentes para el análisis de la segregación étnica espacial urbana. *Revista de Geografía Norte Grande*, (67):145–165.
- Giddens, A. (1991). Structuration theory. *Past, Present and Future*. In: Bryant, C. and Jary, D.(eds.). *Giddens' Theory of Structuration. A Critical Appreciation*. London: Routledge.
- Gilbert, N. (2002). Varieties of emergence. En *Agent 2002 Conference: Social agents: ecology, exchange, and evolution, Chicago*, pp. 11–12.
- R Core Team (2019). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Schelling, T. C. (1971). Dynamic models of segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, 1(2):143–186.
- Squazzoni, F. (2012). *Agent-based computational sociology*. John Wiley & Sons.
- Yin, L. (2009). The dynamics of residential segregation in buffalo: An agent-based simulation. *Urban Studies*, 46(13):2749–2770.

Instituto de Estadística

Documentos de Trabajo



Eduardo Acevedo 1139. CP 11200 Montevideo, Uruguay
Teléfonos y fax: (598) 2410 2564 - 2418 7381
Correo: ddt@iesta.edu.uy
www.iesta.edu.uy
área Publicaciones

Abril, 2020
Nº 2/20