

Análisis de sensibilidad del modelo de Schelling con tres agentes

Sensitivity analysis of the Schelling model with three agents

Gonzalo De Armas¹  y Daniel Ciganda² 

RESUMEN

El modelo de Schelling describe como las preferencias de las personas, con respecto a las características de sus vecinos, se relacionan con la emergencia de procesos de segregación urbana. Este trabajo plantea una extensión al modelo de Schelling clásico con dos agentes, donde se incorpora un tercer grupo de agentes con preferencias distintas al resto de los habitantes de la ciudad y proporción variable en relación con el total de agentes en la ciudad. Cuando éste tercer grupo es completamente tolerante se logra, de manera esperable, una disminución de la insatisfacción y de la segregación a nivel global. A medida que la tolerancia de este tercer agente por individuos con distintas características en su vecindario disminuye, la segregación aumenta, pero la satisfacción también, mientras que cuando la intolerancia alcanza niveles más elevados, disminuye la segregación, pero también la satisfacción. Las dinámicas generadas por nuestra extensión del modelo de Schelling, permiten pensar, por ejemplo, el impacto de los flujos migratorios en las ciudades receptoras y la importancia de los procesos de integración para garantizar en el bienestar de todos sus habitantes.

Palabras Clave: Distribución Espacial, Migraciones, Modelos Computacionales, Segregación, Schelling.

ABSTRACT

Schelling's model describes how people's preferences, with respect to the characteristics of their neighbors, are related to the emergence of urban segregation processes. This paper proposes an extension to the classical Schelling model with two agents, where a third group of agents with preferences different from the rest of the inhabitants of the city and a variable proportion in relation to the total number of agents in the city is incorporated. When this third group is completely tolerant, a decrease in dissatisfaction and segregation at the global level can be expected. As the tolerance of this third agent for individuals with different characteristics in their neighborhood decreases, segregation increases, but so does satisfaction, while when intolerance reaches higher levels, segregation decreases, but so does satisfaction. The dynamics generated by our extension of Schelling's model allow us to think, for example, about the impact of migratory flows in receiving cities and the importance of integration processes to guarantee the welfare of all their inhabitants.

Keywords: Spatial Distribution, Segregation, Migrations, Computational Models, Schelling.

¹ Institución: Universidad de la República. Correo electrónico: gonzalo.dearmas@fcea.edu.uy

² Institución: Universidad de la República. Correo electrónico: daniel.ciganda@fcea.edu.uy

Introducción

La segregación residencial es un fenómeno que puede observarse en la mayoría de los conglomerados urbanos y que tiende a generar efectos nocivos para la dinámica urbana, pero fundamentalmente para los grupos minoritarios que terminan concentrándose en guetos que refuerzan los procesos iniciales de segregación. Por este motivo, la segregación residencial ha sido estudiada por un número importante de autores que han generado numerosas contribuciones para el entendimiento de este complejo fenómeno.

Varias de estas contribuciones se han realizado desde la simulación de modelos basados en agentes, fundamentalmente analizando como la segregación a nivel agregado emerge de las preferencias individuales de sus habitantes, incluso cuando estos pueden ser relativamente tolerantes.

Fue Schelling (1971) quien, a partir de un modelo con dos agentes, probablemente inspirado en los conflictos raciales que se vivían en Norteamérica a inicios de los 70, planteó por primera vez, como la acción e interacción de agentes a nivel micro podía generar un efecto de segregación urbana.

A partir de este modelo, y considerando las propias variantes de este, Schelling concluye que un nivel alto de intolerancia en los agentes, fenómeno que ocurre a nivel individual, conduce a un fenómeno global de mayor nivel de segregación urbana, mientras que un bajo nivel de intolerancia conduce a una mayor heterogeneidad en la ciudad, pero la segregación que emerge a nivel macro siempre es mayor que la que se podría predecir al observar los niveles de tolerancia de los individuos.

Basándose en este modelo original, Urrutia (2017) propone una extensión en la que se incluye a un tercer tipo de agente, el cual presenta niveles de tolerancia mayores que los dos agentes originales. Es posible pensar en este tercer agente como una población inmigrante, que es indiferente a problemas preexistentes entre los agentes originales, entendidos, en este ejemplo, como la población nativa de esta ciudad. En este trabajo, se señala que la existencia de un tercer agente de características integradoras, genera una segregación urbana menor, facilitando así la integración residencial. Los autores también proponen que un modelado con múltiples agentes se acerca más a la realidad de la segregación urbana basada en preferencias socioeconómicas. Finalmente, concluyen, que, si se trabaja en un modelo de dos agentes, aunque uno de ellos sea completamente tolerante, igualmente se presentarán niveles altos de segregación, mientras que, en uno de tres agentes, la presencia de un grupo integrador, disminuye en forma significativa la segregación.

Sin embargo, es posible que las conclusiones mencionadas antes sean una consecuencia directa de las características de este tercer grupo, esto es, que, si un grupo no modifica su ubicación en la ciudad por estar siempre satisfecho, la segregación será siempre potencialmente menor. Por otra parte, también podemos plantearnos qué sucedería si consideramos que este grupo a priori tolerante no lo sea tanto, o que, con el paso del tiempo, pueda comenzar a desarrollar preferencias por vivir en la cercanía de sus iguales. ¿Cuál sería el impacto en la segregación urbana, de este tercer grupo, si sus características son menos ideales desde el punto de vista de su tolerancia? ¿Qué ocurriría si este tercer grupo, cambia su densidad de ocupación y prevalece o disminuye respecto a los originales?

Para responder dichas preguntas, el presente trabajo plantea una variación al modelo de segregación de Schelling y a la extensión propuesta por Urrutia (2017) de manera de que el tercer agente tenga preferencia y proporción variable sobre el total de agentes en la ciudad. La extensión propuesta intenta contribuir a cumplir los siguientes objetivos:

- Analizar los niveles alcanzados de segregación urbana, y la satisfacción promedio de los agentes, ante la presencia de un tercer agente que se encuentra en igualdad de condiciones a los agentes originales en lo referente a sus niveles de tolerancia.
- Realizar un análisis de sensibilidad de la satisfacción y segregación urbana al variar la preferencia y proporción del tercer agente en el total de los agentes presentes en la ciudad.

En esta variación del modelo con tres agentes, se modifica, en una primera instancia, la preferencia del tercer agente respecto a la proporción de vecinos iguales que desea tener en la vecindad, evaluándose, por lo tanto, la segregación y la satisfacción general obtenida en la simulación. En una segunda instancia, se agrega una nueva variante: que la proporción de este tercer agente respecto a los dos originales ya no será igual, sino que se permitirá que sea variable en cada una de las simulaciones.

Este tercer agente, como se mencionó, puede ser ejemplificado como la llegada de inmigrantes a la ciudad, que a priori se mantuvieran en una situación de neutralidad respecto a los habitantes originales. Si bien en la realidad existen procesos de segregación exitosos, donde las preferencias de los inmigrantes por vivir con sus iguales disminuyen con el tiempo (Azpurua, Fernando. 2005); en este caso se pretende modelar un caso de inmigrantes en un escenario de asimilación no exitosa, donde los conflictos con la población local van en aumento (de Esteban, A & Perelló. S. 2006)

El trabajo de Gouveia, L. & Powell, M. A. (2008) ilustra claramente este tipo de escenario a partir de un estudio de la inmigración de latinos en Nebraska donde se concluye que "La mayoría de los niños y jóvenes latinos viven en barrios urbanos donde la pobreza es por lo menos dos veces mayor que la tasa general de pobreza de la ciudad. Sus padres están altamente concentrados en los peldaños más bajos de un mercado laboral local altamente segmentado".

Marco teórico y antecedentes

Como se indicó anteriormente, la segregación residencial es un proceso a partir del cual subpoblaciones con características similares con respecto a su religión, etnia o nivel socioeconómico, entre otros, terminan distanciándose físicamente de otras subpoblaciones con características distintas, lo que da lugar a la formación de guetos.

Los procesos de segregación residencial pueden ser autoimpuestos y tener como protagonistas a los estratos de nivel socioeconómico alto, tal como destacan Rubiales Pérez M. et al (2012) en el caso de la ciudad de Barcelona.

Los flujos migratorios tienden a estar asociados con el fenómeno de la segregación urbana, aunque como se destacó antes, este no es el único resultado posible. Analizando los patrones de asimilación espacial de los migrantes en Chile, Castillo V, & Razmilic S. (2020) registran una disminución de la segregación espacial en los inmigrantes a través del tiempo. Los autores plantean que los inmigrantes inicialmente se concentran alrededor de sus redes de apoyo, pero que a medida que sus ingresos aumentan, tienden a dispersarse, y que, si acompañan procesos de segregación, estos serán por las condiciones de sus ingresos y no por su condición de inmigrantes, configurándose así una asimilación exitosa.

Sin embargo, en este trabajo nos interesa el problema tal cual ha sido definido por Marcuse (2005), donde se define a la segregación como un proceso, donde un conjunto de individuos generalmente es tratado como inferior, es forzado a agruparse contra su voluntad, dentro de las ciudades, formando guetos. La segregación propiamente dicha, para este autor, es el proceso por el cual se forman y sostienen en el tiempo estos guetos.

Un aspecto de interés en el estudio de la segregación residencial es analizar como las decisiones de los individuos moldean procesos a nivel del colectivo o "nivel macro" y, por lo tanto, esta preferencia por vivir en la cercanía de las personas con similares características provoca, a nivel agregado, una tipología de ciudad donde se pueden encontrar zonas espaciales homogéneas, guetos o la presencia de marginación en algún grupo de integrantes de determinada población conocido como "segregación urbana" (Pancs & Vriend, 2007).

El modelo de Schelling, como se señaló antes, muestra la segregación resultante a nivel de la ciudad tiende a ser mayor de la que se podría predecir observando las preferencias de los individuos. Pero como mencionan Garcia et al. (2017) existen también fenómenos a nivel meso que afectan los resultados, dichos fenómenos pueden asociarse a la topología o forma de la red de las interacciones, generando procesos emergentes que no son reducibles a la dinámica individual de los agentes.

Como se mencionó antes, el modelo original propuesto por Schelling (1971) fue construido para teniendo como referencia la segregación racial en las áreas metropolitanas de EE. UU. Este modelo se desarrolló a partir de tres etapas como señala Urrutia (2017), una primera modelización se basó en una ciudad unidimensional, donde cada agente tenía solo dos vecinos: las celdas adyacentes, en este modelo la segregación total resultó mayor a las preferencias de los individuos. En una segunda etapa, Schelling pasa a un modelo bidimensional de ciudad, donde cada agente presenta ocho vecinos, el resultado de esta simulación también ofrece un resultado de segregación total superior a las preferencias individuales. Finalmente, un tercer modelo plantea que, se establezcan diferentes niveles de tolerancia en cada tipo de agente, planteándose así que, en teoría podría disminuirse la segregación, sin embargo, los resultados también muestran niveles de segregación mayores a los niveles de preferencias de cada uno de los grupos.

En la práctica, este modelo pone en juego un escenario donde existen dos tipos de agentes, siendo que cada agente representa un conjunto de individuos que comparten, como ya se dijo, una misma característica, como puede ser el nivel socioeconómico, la etnia, un origen en común, etc. Bajo este modelo, los agentes originalmente se encuentran ubicados aleatoriamente en una ciudad ficticia, y manifiestan una determinada preferencia por tener a su alrededor, vecinos de su mismo

tipo. Si se da la circunstancia de que la cantidad de vecinos similares a él está por debajo de su nivel de preferencia o de tolerancia, entonces el agente se encuentra *insatisfecho* y se muda, también en forma aleatoria a otro lugar de la ciudad, este procedimiento se repite hasta que esa insatisfacción desaparezca o se finalice la simulación. Cabe destacar que, si el nivel de intolerancia es muy alto, también se obtiene como resultado una ciudad con baja segregación, pero esto se debe a la imposibilidad de los agentes de encontrar un lugar apropiado donde encontrarse satisfechos.

Desde la publicación del modelo original, se han propuesto un importante número de extensiones que permiten iluminar otros aspectos del proceso de segregación urbana. Algunos ejemplos de estas extensiones pueden verse en (García-Valdecasas y López, 2017) donde se ha modificado la densidad poblacional, el grado de heterogeneidad cultural, el tamaño del vecindario y la proporción de cada agente, conformándose minorías en alguno de ellos, para de esta manera plantear, según los autores, un conjunto de supuestos más realistas que los propuestos en el modelo original, en el cual el individuo no se muda a un lugar aleatorio, sino que prioriza moverse a un lugar disponible donde se sentiría satisfecho. En esta extensión, los autores concluyen que, si bien sus resultados coinciden con el original en varios aspectos, en el modelo original la formación de guetos se genera a partir de valores muy bajos en el nivel de tolerancia, mientras que, en el propuesto por los autores, esta formación se da recién en niveles comparativamente más altos. Por otra parte, también encontraron otras diferencias entre el modelo original y la extensión propuesta: en el modelo original no se forma esta segregación si los agentes se consideran como muy intolerantes, por no poder encontrar una nueva ubicación en la ciudad donde se encuentren satisfechos, mientras que, en la extensión, los autores pudieron verificar la formación de estos guetos.

Otra posible extensión a este modelo fue presentada en De Armas et al. (2020) donde se incorporan un conjunto de escenarios. En el primero de ellos se plantea la posibilidad de que los grupos tengan diferentes tamaños, posibilitando la existencia de minorías y un parámetro de tolerancia fijo. Un segundo escenario donde la tolerancia es variable, pero realizando siempre esta variación de forma determinista y en función del tiempo. Un tercer escenario en donde la tolerancia es modelada mediante una variable aleatoria con distribución estipulada a priori. Finalmente se presenta un cuarto escenario en el cual, los agentes modifican su tolerancia en función de los valores presentes a nivel macro, lo cual genera retroalimentación para la toma de decisiones de los agentes. Como resultado del análisis de estos escenarios, se concluye que incorporar preferencias aleatorias no genera variantes significativas en la segregación resultante, mientras que, si se permite a los agentes, incorporar elementos de retroalimentación que afecten sus preferencias, volviendo a los agentes más intolerantes a medida que la segregación se incrementa, se observa que la disminución en las posibilidades de intercambio estimula la formación de guetos.

Por otra parte, y en consonancia con este cuarto escenario planteado en la extensión anterior, existen factores como los planteados por Bayer & McMillan (2012), donde se investiga si la raza es un factor que afecta el precio pagado por una vivienda y si son prejuicios raciales de los vendedores quienes generan estas diferencias de precios. Los resultados observados por los autores concluyen que los compradores negros e hispanos pagaron un precio significativamente más alto por la vivienda en ciudades como Chicago y Maryland.

También, se plantea un escenario de influencia de las decisiones a nivel micro, con parámetros de nivel macro, en la extensión desarrollada en Héctor A. López et al. (2017). donde se desarrolla

un modelo matemático para la elección de la ubicación residencial de cada agente, en función de una función de utilidad, que determina el monto a pagar por la relocalización en función de las condiciones de la vivienda y la experiencia del agente en el contexto urbano donde residía con anterioridad. O como los señalados en (Gravel & Oddou, 2014), donde se demuestra que existe una segregación en función de la renta, “solo si los hogares tienen una demanda malthusiana de cualquier bien público”.

Finalmente, como se mencionó en la introducción, la extensión planteada por Urrutia (2017), plantea la incorporación de un tercer agente tolerante.

Considerando esta última extensión y en lo referente a la inclusión de este tercer agente, que en nuestro trabajo suponemos como población inmigrante, Retortillo Osuna, Á. et al (2006), señalan que existen dos grandes modelos de integración de la población inmigrante a la sociedad receptora: la asimilación y el multiculturalismo.

Estos autores indican que la asimilación se da como “un proceso de adecuación del inmigrante a la sociedad receptora”, que implica dejar las propias costumbres para adquirir las del país de destino, indicando entre estas, a las costumbres, cultura y modos de vida de esta nueva sociedad a la que llega, para que, de esta manera, sea aceptado e integrado a la misma. Se deja claro que, en este modelo, es el inmigrante quién es responsable de seguir este proceso.

Por otra parte, el multiculturalismo, se lo define como un proceso antiasimilacionista, que se proclama como un proceso de no discriminación por etnia o cultura, donde se reconocen las diferencias culturales. Sin embargo, los autores critican este modelo ya que, según ellos en la práctica, “el multiculturalismo lleva a la sociedad a la segmentación en compartimentos estancos, se forman guetos difícilmente permeables y se crean diferencias de poder entre unas comunidades y otras” (Retortillo Osuna, Á. et al 2006).

Metodología

Para estudiar la dinámica en la segregación urbana a partir de las decisiones y preferencias de los individuos, se aplica la metodología del modelo basado en agentes (MBA) mediante la simulación de acciones a nivel individual, a los efectos de recrear el problema planteado (Izquierdo et al, 2008. Martin J, 2020). Es posible distinguir dos grandes vertientes en el abordaje de los procesos de segregación urbana. Por un lado, un enfoque que descansa en el uso modelos estocásticos discretos, y por otro, un enfoque cuya principal herramienta son los modelos determinísticos de tiempo continuo (Yizhaq et al. 2004). La ventaja de este segundo tipo de modelos es su mayor trazabilidad y la posibilidad de realizar un análisis matemático más acabado de los procesos analizados, utilizando, por ejemplo, las herramientas de la teoría de los sistemas dinámicos. Como contracara, estos modelos necesitan mayores niveles de abstracción, resignando elementos importantes de los sistemas representados, fundamentalmente en relación con la heterogeneidad de los individuos, o grupos de individuos modelados.

Los modelos estocásticos discretos, por otro lado, permiten representar un conjunto más importante de diferencias entre individuos resignando trazabilidad y exactitud en los resultados

(Miller & Page 2009). Además, al enfocarse en el nivel individual, este tipo de modelos se prestan naturalmente para el análisis de fenómenos emergentes, es decir, procesos observados a nivel agregado que son difíciles de predecir incluso cuando se dispone de un conocimiento acabado sobre las unidades constitutivas de un sistema.

Dado nuestro foco en la heterogeneidad en relación con las preferencias de los agentes, optamos por una simulación de tiempo discreto, compensando la falta de trazabilidad del modelo con un análisis de sensibilidad sistemático de la relación inputs-outputs.

La satisfacción general de los agentes, y esto es lo que se expresa como resultado de la simulación, cuantifica la proporción de agentes, que, una vez finalizada la simulación, se encuentran satisfechos individualmente.

En la siguiente etapa de la simulación, se considera que transcurre una unidad de tiempo (en general se consideran unidades de tiempo anuales), durante la cual, los agentes que se encuentran insatisfechos se mueven en forma aleatoria a alguno de los espacios libres presentes en la ciudad, donde su situación de insatisfacción puede cambiar, si es que se cumplen las condiciones de satisfacción previamente especificadas. Este ciclo se repite nuevamente hasta que todos los agentes se encuentren satisfechos o que hayan transcurrido la cantidad de unidades de tiempo, en este caso, años, especificadas en la simulación.

Se busca entonces medir el grado de segregación obtenido una vez finalizada la simulación. Este indicador se calcula en base al promedio de la cantidad de vecinos similares que cada uno de los agentes tiene a su alrededor. Un valor de 1 indica que hay una completa segregación urbana, esto es un indicador de una ciudad dividida en dos particiones, dando lugar a una segregación urbana plena, mientras que, por el contrario, un valor de 0, nos daría a entender, que en la ciudad hay una completa mezcla de los agentes (Iozzi, 2018), este cálculo es una simplificación al índice presentado por Duncan en (Duncan O.D. y Duncan. B.A, 1955).

Para cumplir con los objetivos planteados se realiza esta simulación en el software R, (R Core Team, 2020) y se basa en modificaciones realizadas a los códigos obtenidos de R snippets, (2019) y Adler, Murdoch et al (2018). En lo referente a la parametrización del modelo, se trabaja con una ciudad con forma toroidal, similar a la presentada por el modelo original y presentada también por Grauwin, S., Goffette-Nagot, F. Jensen, P. (2011). De manera de no generar un modelo excesivamente complejo, las dimensiones de la ciudad se consideran fijas y se componen de 51 columnas y 51 filas, pero con la particularidad de que los extremos se consideran una continuación uno del otro, con lo que se podría observar a la ciudad como una estructura continua y circular o toroidal.

En cuanto a la ocupación de la ciudad, también se busca simplificar el modelo y por tanto se considera constante esta proporción, en primera instancia, se selecciona en forma aleatoria los lugares ocupados por los distintos agentes, cumpliendo que se ocupe una densidad del 70% de los lugares disponibles. En estos lugares inicialmente ocupados, debe verificarse que se cumpla una igualdad de proporciones entre los tres tipos de agentes y que los mismos se encuentran ubicados en forma intercalada a lo largo de la ciudad.

Por otra parte, definimos que un agente es vecino de otro, cuando ocupa cualquier posición inmediatamente adyacente alrededor del mismo.

Se define también, a la *preferencia* (simbolizada como μ_i) como la proporción mínima de agentes iguales que necesita cada uno de los agentes en su vecindad, para estar satisfecho y se establece, en esta simulación, una preferencia para los agentes originales del 60%, dejando variable la preferencia del tercer agente. A los efectos computacionales, se determina que el parámetro de tolerancia para este tercer agente presenta una variación en el rango de 0% a 100% de preferencia, con aumentos del 10%, cada uno implementado en las diferentes simulaciones realizadas. Se entiende que cada agente está *satisfecho*, si en su vecindad existe una cantidad de agentes iguales a él, que debe ser de al menos la preferencia indicada, la agregación de la satisfacción individual permite determinar la *satisfacción* general de la población, como la proporción de agentes satisfechos en el total de agentes.

En un segundo escenario de simulación, se considera también como variable a la proporción del tercer agente respecto a la proporción de los originales presentes en la ciudad. Para evaluar el grado de influencia de este parámetro en los resultados globales de satisfacción y segregación, se permite que esta proporción varíe en un rango de 10% al 90%, del total de los individuos que ocupan la ciudad, con un aumento del 10% en cada una de las simulaciones realizadas en este escenario.

Una vez definidas las condiciones de la simulación, se procede a ejecutar los movimientos de los agentes en la ciudad. En cada iteración, se simula el paso de un año y los agentes que se encuentran insatisfechos, se mudan en forma aleatoria a otro lugar disponible. Por otra parte, los agentes que estaban satisfechos como resultado de la iteración anterior, se mantienen en su lugar. Cabe señalar, que, como resultado de la dinámica de los movimientos de los distintos agentes, un agente satisfecho, puede pasar a no estarlo, si como consecuencia de la ocupación de otros agentes, en lugares libres adyacentes (si los hubiera), la proporción de agentes similares cae por debajo del umbral de satisfacción. La simulación se da por finalizada cuando todos los habitantes de la ciudad (agentes) estén satisfechos o hayan transcurrido 50 iteraciones (entendidas como años) y, en consecuencia, queden aún agentes insatisfechos. Debemos señalar, que se consideran 50 iteraciones, porque empíricamente se ha verificado en nuestras simulaciones que, pasadas las 50 iteraciones, es poco probable que se encuentren movimientos que generen que todos los agentes puedan ubicarse en lugares donde estén satisfechos y las mejoras globales en este indicador, ya son marginales.

Resultados

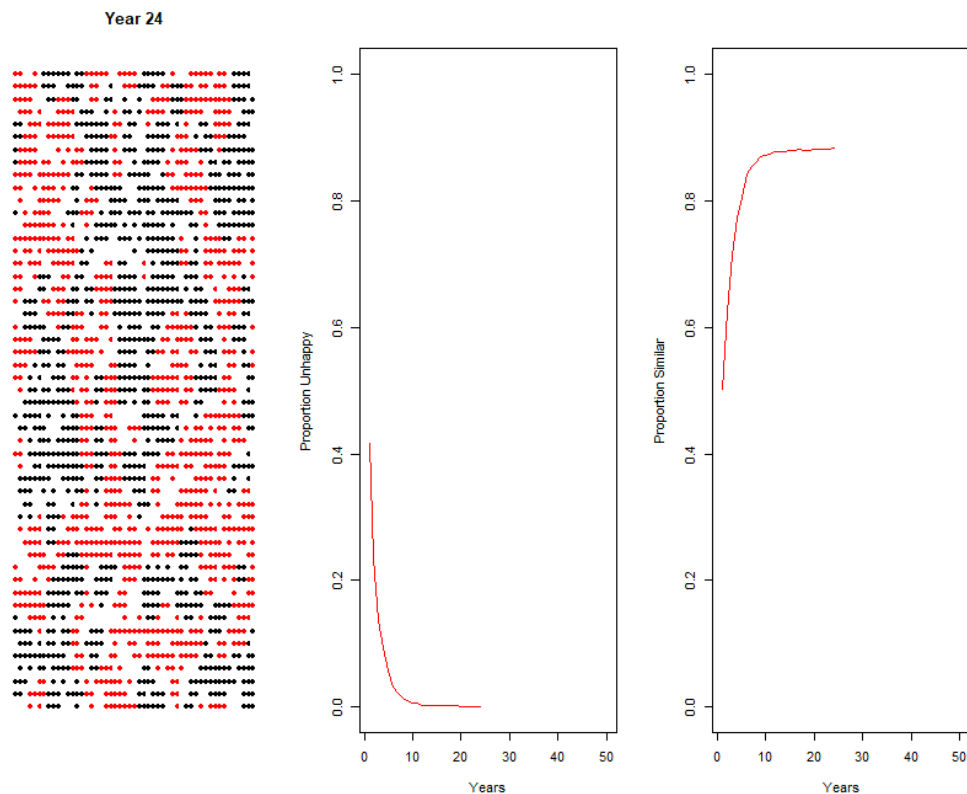
A continuación, se presentan los resultados obtenidos al comparar el modelo de Schelling original, con el modelo que considera al tercer agente como totalmente tolerante, para finalmente considerar la simulación en la cual el tercer agente comienza a tener valores de tolerancia variables. Como se ejemplifico anteriormente, este tercer agente puede ser interpretado como un conjunto de inmigrantes, que a priori no tiene preconceptos respecto a la población nativa, pero que, como resultado de una asimilación no exitosa, puede desarrollar preferencias por vivir en la vecindad de sus similares.

Se toma como parámetros fijos a la preferencia de los agentes originales, especificada en un 60%, puesto que en nuestro estudio se intenta responder como cambia ese escenario ante la presencia del tercer agente. También se toma una densidad de población de un 70% y el tamaño de la ciudad, formada por un cuadrado de 51 filas y 51 columnas. Esto nos permite obtener resultados de la simulación en tiempos razonables, en términos de procesamiento computacional, sin alterar la dinámica del comportamiento estudiado.

En primera instancia, la Figura 1, refleja el modelo de Schelling original, parametrizando a los agentes, de manera que tengan un umbral de tolerancia del 60%, es decir que por debajo de 60% de igual color, estarán satisfechos. Se observa en este caso, que se alcanza una segregación del 85% con una satisfacción en el 100% de los agentes, tras 24 iteraciones (años) en la simulación, este alto nivel de segregación, superior a las preferencias individuales, refleja lo señalado como un proceso emergente, producto de procesos a nivel maso, señalado por Garcia et al (2018).

Figura N°1

Modelo de Schelling con dos agentes

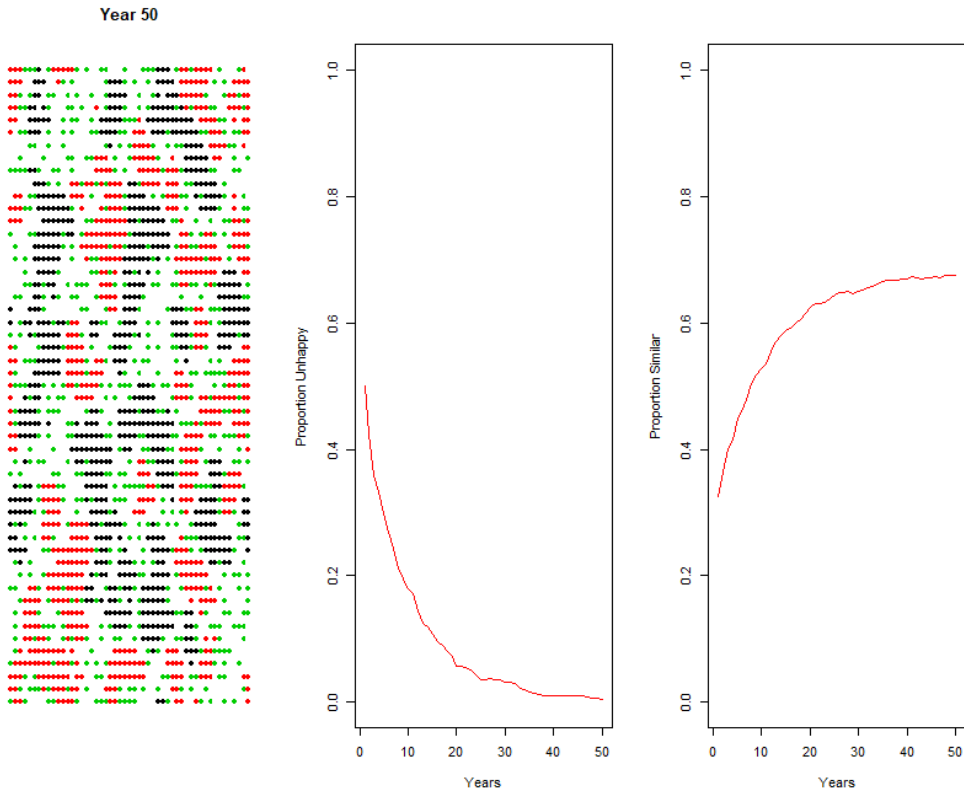


Fuente: Elaboración propia.

Esto es consistente con lo indicado por Urrutia (2017) respecto a los resultados del modelo de Schelling original, al comparar preferencias individuales con la segregación global. Si consideramos a este tercer agente, completamente tolerante y, por consiguiente, mediador respecto

a los dos agentes originales, la simulación reflejada en la Figura 2 presenta una diferencia en el resultado de la satisfacción y la segregación respecto al modelo original.

Figura N°2
Modelo de Schelling con tres agentes, uno tolerante



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2, se presentan los resultados de introducir al tercer agente, el cual es completamente tolerante a los otros dos, se obtiene para este caso, también una satisfacción en el 100% de los agentes, pero con una segregación cercana al 65%, esto permite considerar, que la introducción de este tercer agente disminuye la segregación total observada en la ciudad.

Sin embargo, el resultado obtenido está dentro de lo esperable por el solo hecho de tener un nuevo agente, que por su condición de perpetua satisfacción, no se mueve de su lugar de origen. Al haber incorporado este nuevo agente, se genera un nivel de agentes satisfechos, de base, superior al del modelo original de Schelling. Por otra parte, existe un potencial de menor segregación, dado que este tercer agente permanece en una posición fija dentro de la ciudad.

Al analizar el escenario donde las preferencias del tercer agente son variables, producto de una integración no exitosa del tercer agente. Se observa en la Figura 3, los resultados obtenidos en la segregación y satisfacción resultantes de este nuevo escenario de simulación. Bajo las

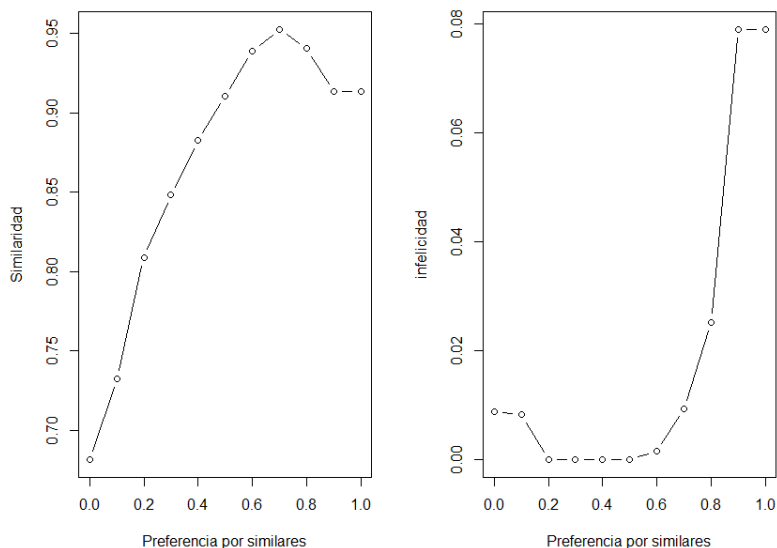
condiciones mencionadas y a medida que se disminuye la tolerancia de este tercer agente, se observa un aumento en la segregación, hasta que se alcanza un máximo superior al 96%, cuando la preferencia del tercer agente se encuentra en el entorno de 0,43 y 0,5 (43% y 50%) vecinos similares a su alrededor. En este rango de preferencias, los valores de insatisfacción son cercanos a 0 (todos los agentes se encuentran satisfechos con la ubicación en la ciudad en la que han finalizado la simulación).

A partir de una preferencia de 0,57 (57%) vecinos similares a su alrededor, la segregación comienza a descender y cae drásticamente a partir de una preferencia de 0,6 (60%) vecinos similares adyacentes, este resultado no implica un proceso positivo, sino que se debe a la dificultad de encontrar un lugar disponible en aquellos agentes insatisfechos, que se mantienen en constante movimiento. En este escenario la insatisfacción permanece en valores elevados y el modelo no converge ya que los agentes continúan buscando un lugar como se explicó antes.

Esto permite considerar dos situaciones posibles en este escenario de no asimilación, la primera es que, si los requisitos de este nuevo agente por vivir en la vecindad de sus similares, toma valores intermedios en la escala, se produce a lo largo del tiempo, la generación de guetos producto de estas preferencias. En cambio, si la tolerancia a la diversidad de vecinos es muy alta, estos guetos no se conformarán, pero no por una decisión del agente de vivir cerca de agentes distintos, sino por la falta de la posibilidad de encontrar un lugar donde encontrarse satisfecho. Podemos asumir que la no segregación urbana puede darse bajo dos situaciones posibles: la de satisfacción de los agentes o la resignación de los agentes al no poder encontrar un lugar definitivo.

Figura N°3

Segregación de la ciudad e insatisfacción de los agentes según preferencias del tercer agente.

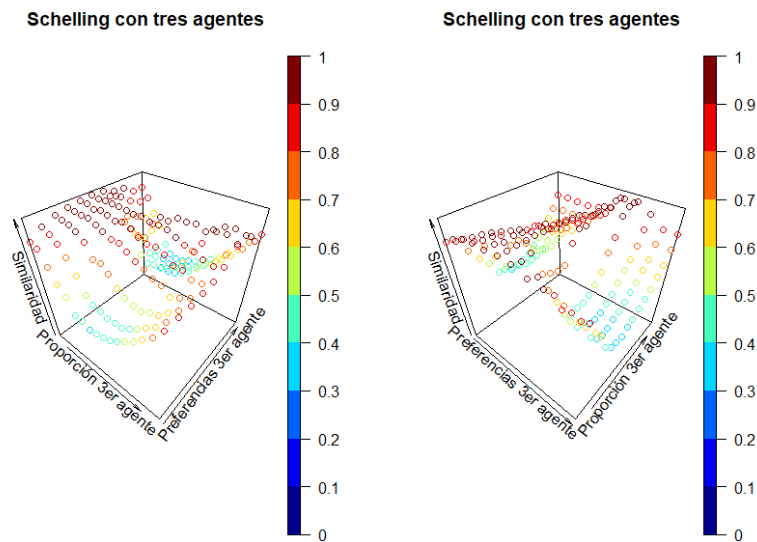


Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se busca comprobar que sucede con la segregación urbana resultante en la simulación, cuando además de permitir variar la preferencia de este tercer agente respecto a los otros dos, se elimina el supuesto original de que todos los agentes tienen la misma proporción de los individuos existentes en la ciudad y se transforma en un nuevo parámetro sujeto a variaciones. Esto implica considerar un escenario menos estricto y, por tanto, más realista.

Figura N°4

Variación de la segregación en la ciudad según la preferencia del 3er agente y su proporción respecto a los otros dos.



Fuente: Elaboración propia.

Podemos extender las consideraciones del caso anterior (donde solo variaba la preferencia por similares del nuevo agente) agregando como elemento variable la proporción del tercer agente respecto a los otros dos.

Analizando las Figuras 4 y 5, al variar tolerancia del tercer agente respecto a la vecindad de los agentes originales, al igual que lo visto en la Figura 3, la segregación sigue una forma de parábola cóncava que tiene una mayor pendiente cuando la proporción del tercer agente toma valores en torno al 40% a 60% del total de los agentes.

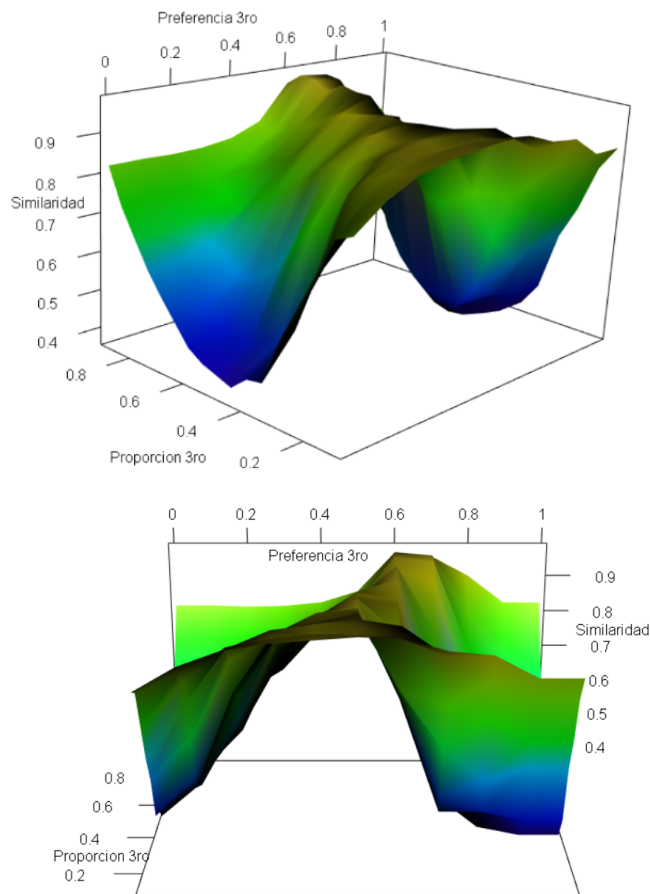
En cambio, al variar la proporción del tercer agente, la segregación toma una forma de parábola convexa, excepto para valores centrales de preferencia por sus similares, donde la segregación (la cual toma valores altos) apenas tiene variaciones.

Los mayores valores de segregación se observan cuando los valores de preferencia por sus similares de este tercer agente oscilan entre 0,4 (cuando la proporción del tercer agente es baja) y 0,6 (cuando la proporción del tercer agente es alta).

El máximo absoluto de segregación ocurre cuando la preferencia por vecinos similares, en este nuevo agente es del 0.6 (60%) y la proporción de este agente respecto al total de individuos en la ciudad es de 70%.

Figura N°5

Segregación en la ciudad según preferencia por iguales y proporción del tercer agente.

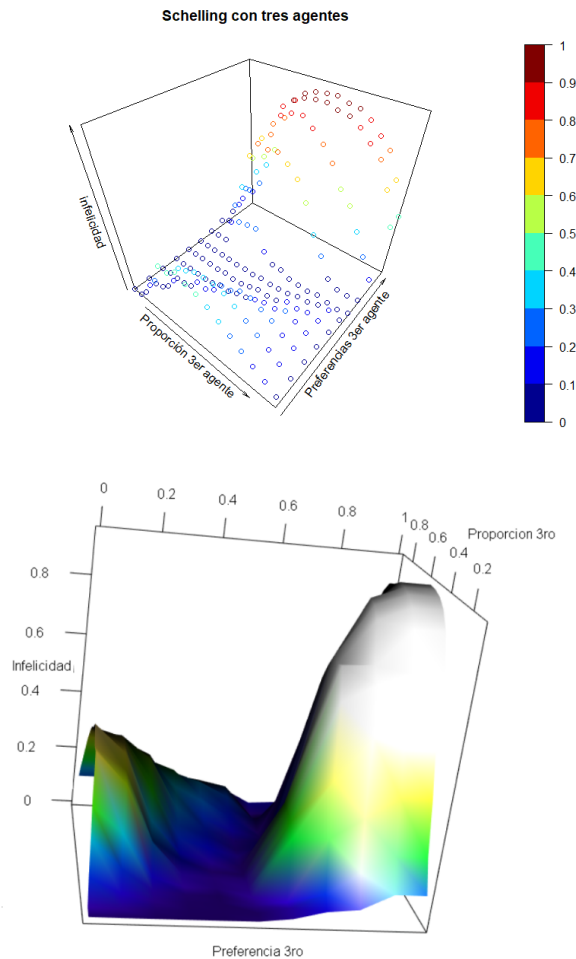


Fuente: Elaboración propia.

Si se analiza la satisfacción general de todos los agentes, según lo que puede observarse en la Figura 6, la insatisfacción mayor se puede observar cuando se da simultáneamente una preferencia alta de este tercer agente por tener vecinos similares y la proporción del mismo ronda el 50%. También se ve el mismo fenómeno de insatisfacción (a menor escala) cuando las preferencias del tercer agente son muy bajas para la misma proporción que la situación anterior. Por el contrario, el mayor grado de satisfacción se da en valores intermedios en la escala de preferencias del tercer agente, valores que coinciden con una alta segregación. Si bien es esperable que, en nuestra ejemplificación del tercer agente, como una población inmigrante, esta, en principio tenga una baja proporción respecto a la población nativa, se plantean todos estos escenarios para que estos resultados puedan trasladarse a otros ejemplos de tercer agente que pueda ser viable, y porque

Figura N°6

Insatisfacción según preferencia y proporción del tercer agente.



Fuente: Elaboración propia.

en los tiempos actuales se han observado importantes movimientos migratorios ante situaciones excepcionales como guerras o severas crisis económicas.

Finalmente, cabe destacar, que en los casos donde el modelo converge, la segregación resultante, es superior a las preferencias individuales, planteando de esta manera este fenómeno emergente resultante de los procesos que ocurren a nivel meso.

Conclusiones y pasos a futuro

Tomando como punto de partida la extensión del modelo de Schelling propuesta por Urrutia (2007), donde se incorpora un tercer agente, en el presente trabajo se verifica que, si los niveles

de tolerancia del tercer agente son similares a la de los agentes originales, la segregación observada es aún mayor que en el modelo original de Schelling. Por lo tanto, se deben tener ciertos reparos, al suponer que un tercer agente disminuirá la segregación urbana, esto será así, siempre y cuando las preferencias del nuevo agente no puedan sufrir variaciones importantes ante la aparición de nuevos escenarios o paso del tiempo.

Se ha verificado, a partir de las simulaciones, nuestra hipótesis de que a medida que este tercer agente comienza a desarrollar una preferencia por vivir en la cercanía de sus iguales, producto de una asimilación fallida, esta segregación y satisfacción de los agentes comienza a variar. Para valores intermedios de preferencias del tercer agente por vivir entre sus iguales, se genera una máxima satisfacción y segregación, mientras que a medida que nos alejamos de esa situación intermedia y aumenta la necesidad de similaridad con sus vecinos, disminuyen la satisfacción y la segregación cuando la proporción de este nuevo agente no es extrema. Si en cambio disminuye la preferencia de este agente haciéndolo más tolerante, se presenta una situación similar de disminución de la segregación, pero no al costo de un aumento tan marcado de la insatisfacción. Estos resultados concuerdan con la idea a priori de Clark, W.A. Fossett, M., (2008) y Urrutia, (2017) cuando señalan que la segregación no es resultante solo de la inclusión del tercer agente, sino por sus preferencias.

Si se contrastan nuestros resultados con la definición de segregación planteada por Marcuse (2005), se observa en la simulación, sobre todo cuando el modelo converge, la formación de estos guetos y su permanencia en el tiempo, dado que los individuos que están satisfechos ya no se mudarán, o debido a la discriminación recibida, los otros agentes se alejan de su vecindad hasta encontrar una localización que los aleje de quienes son diferentes.

De las simulaciones realizadas, observamos que, el tercer grupo, caracterizado en este ejemplo como inmigrantes, genera una disminución de la segregación en la ciudad debido a su falta de preconcepciones y a su posición mediadora entre dos agentes que tienen una cierta falta de tolerancia mutua. En este sentido, la implementación de políticas de apertura migratoria que atraiga a inmigrantes con estas características puede lograr esta disminución observada en la segregación. Sin embargo, debe observarse que, si la asimilación de este nuevo agente no resulta exitosa, estaremos ante la presencia de una segregación aun mayor (o a una ciudad con tensiones en caso de que la baja segregación coincida con una falta de satisfacción), con lo que a las políticas que tengan como objetivo el incorporar inmigrantes en una determinada región, deben incorporar en su planificación, una siguiente etapa que derive en la asimilación positiva de los migrantes.

Como limitaciones de este trabajo, debemos señalar que, en nuestro modelo de simulación, para no tener una excesiva complejidad de la simulación, y para poder visualizar más fácilmente los resultados, no hemos planteado como variable la tolerancia de los agentes originales. Posteriores líneas de investigación pueden abordar este problema, donde la simulación se centre en variar las tolerancias de los tres agentes en forma simultánea, asumiendo una cierta correlación entre las tolerancias de los agentes originales y la del tercer agente.

Por otra parte, si bien el foco de nuestro trabajo ha sido simular un modelo donde los agentes se mueven libremente por la ciudad, se debe discutir, a fin de desarrollar políticas públicas de integración, que ocurre cuando existen factores macro que afectan las posibilidades de relocali-

zación de los agentes, como los descritos por Bayer & McMillan, (2012) donde este tercer grupo, que nosotros hemos ejemplificado como inmigrantes, deben pagar un precio mayor por la vivienda que una persona de la etnia mayoritaria, o si los inmigrantes recientes tienen acceso a trabajos peores pagados, pueda ocurrir una segregación en función de la renta como modelan Gravel & Oddou (2014).

Cabe destacar también que estas simulaciones se hicieron bajo la misma forma de la ciudad que se utiliza en los trabajos originales, por lo cual es relevante considerar si las conclusiones a las que se llegan en estos tres modelos pueden cambiar significativamente, si la ciudad tuviera otra conformación, donde se simulara la conformación y límites de una ciudad real, o si se cambia la definición de vecindad, considerando solo los vecinos adyacentes en una sola magnitud (una sola fila o una sola columna), o cambiando la distancia a la cual considerar vecino.

Como otros pasos a futuro se propone poder implementar el cambio en la forma de vecindario y el radio de este. Por ejemplo, considerar un vecindario de tipo Von Neuman (Margolus, N, 1987), en el que solo considera como vecinos a los cuatro lugares circundantes en forma de una cruz de cuatro 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 propone considerar comportamiento aleatorio para el parámetro de tolerancia, suponiendo distribuciones de probabilidad para el parámetro de tolerancia μ , como puede ser una distribución $Beta(\alpha, \beta)$ o una distribución normal truncada.

Otra posible línea de investigación a desarrollar, basada en la inclusión de este tercer agente, presentado como mediador de los dos agentes originales, consiste en medir, no solamente la satisfacción general de todos los agentes como un solo indicador, sino también incorporar el análisis de la variación en la satisfacción de los dos agentes originales individualmente y contrastar este indicador con la satisfacción de toda la población en su conjunto, para de esta manera ver el efecto del tercer agente, en los dos anteriores.

Referencias bibliográficas

Adler, D. Murdoch, D. and others, rgl: 3D Visualization Using OpenGL. R package version 0.99.16. <https://CRAN.R-project.org/package=rgl>, 2018.

Azpurua, Fernando. La Escuela de Chicago. Sus aportes para la investigación en ciencias sociales. SAPIENS, 2005, 6(2), 25-36. Recuperado en 15 de marzo de 2022, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1317-58152005000200003&lng=es&tlng=es.

Castillo, V., & Razmilic, S. Evolución de la segregación de los inmigrantes en Santiago, 2020. Puntos de referencia, 527. Centro de Estudios Públicos.

Clark, W.A. Fossett, M.. Understanding the social context of the Schelling segregation model. Proceedings of the National Academy of Sciences, 105(11), 4109-4114. <https://doi.10.1073/pnas.0708155105>, 2008.

De-Armas, Gonzalo & Rodríguez - Collazo, Silvia & Álvarez-Vaz, Ramón & Carrasco, Hugo & Ciganda, Daniel. Extensiones al modelo de segregación de Schelling -primera parte - Serie Documentos de Trabajo. 2020.

de Esteban, Alfonso & Perelló Salvador. Inmigración y nuevos guetos urbanos. *Revista Sistema* (190-191) Inmigración y exclusión social. p167-177

Duncan,O.D. Duncan,B.A. Methodological analysis of segregation indexes. *American Sociological Review*, 20(2), 210-217. <https://doi.org/10.2307/2088328>, 1955.

García-Valdecasas, José Ignacio, & López, Iván. Un modelo basado en agentes para el análisis de la segregación étnica espacial urbana. *Revista de geografía Norte Grande*, (67), 145-165. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022017000200008>. 2017.

García, A., Ivarola, L., & Szybisz, M. El paradigma de la complejidad en economía: más allá de las leyes y de la causalidad lineal. *Cinta de moebio*, (61), 80-94. 2018.

Grauwin, S., Goffette-Nagot, F. Jensen, P. Dynamic models of residential segregation: An analytical solution. *Journal of Public Economics*, 96(1-2),124-141. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco>. 2011

Gravel, N. Oddou, Rémy. The segregative properties of endogenous jurisdiction formation with a land market. *Journal of Public Economics*, 117. p15-27. 2014.

Héctor A. López-Ospina, Cristián E. Cortés & Francisco J. Martínez Residential relocation dynamics: A microeconomic model based on agents' socioeconomic change and learning, *The Journal of Mathematical Sociology*, 2017 p. 41:1, 46-61, DOI: 10.1080/0022250X.2016.1261861

Iozzi F. A simple implementation of Schelling's segregation model in NetLogo. 2018.

Izquierdo, Luis & Galán, José Manuel & Santos, José Ignacio & Martínez, Ricardo. Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas. *Empiria. Revista de Metodología de Ciencias Sociales*. 2008

Marcuse P. Enclaves yes, ghettos no. Segregation and State. *Desegregating the City: Ghettos, Enclaves, and Inequality*. p15-30. 2005.

Martin, Juan. Modelos basados en agentes. *Boletín de Dinámica de Sistemas*, 2020.

Page S, Miller JH. *Complex adaptive systems: An introduction to computational models of social life*. Princeton University Press; 2009.

Pancs, R. Vriend, N. Schelling's spatial proximity model of segregation revisited. *Journal of Public Economics*, 91(1-2), 1-24. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco>. 2007.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.2020

R snippets. R snippets Código original obtenido de: <http://rsnippets.blogspot.com/> - modificado por Daniel Ciganda. 2019

Retortillo Osuna, Á., Ovejero Bernal, A., Cruz Souza, F. R., Arias Martínez, B., & Lucas Mangas, S. Inmigración y modelos de integración: entre la asimilación y el multiculturalismo. *Revista Universitaria de Ciencias del Trabajo*, 2006, (7), 123-139.

Rubiales Pérez, M., Bayona, J., & Pujadas, I. Patrones espaciales de la segregación residencial en la Región Metropolitana de Barcelona: Pautas de segregación de los grupos altos. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 2012, vol. XVI, num. 423, p. 33 pp.

Schelling, T. Dynamic models of segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, 1(2), 143-186. <http://doi.org/10.1080/0022250X.1971.9989794>. 1971

Urrutia-Mosquera, Jorge, López-Ospina, Héctor, Sabatini, Francisco, & Rasse, Alejandra. Tolerancia a la diversidad y segregación residencial. Una adaptación del modelo de segregación de Schelling con tres grupos sociales. *EURE (Santiago)*, 43(130), 5-24. <https://dx.doi.org/10.4067/s0250-71612017000300005>. 2017

Yizhaq H, Portnov BA, Meron E. A mathematical model of segregation patterns in residential neighbourhoods. *Environment and Planning A*. 2004 Jan;36(1):149-72.