

Un modelo basado en agentes para el análisis de la segregación étnica espacial urbana¹

José Ignacio García-Valdecasas² y Iván López³

ABSTRACT

Se pretende analizar la segregación étnica espacial urbana mediante un modelo basado en agentes. Con dicho propósito, se ha estudiado el efecto de variables como la densidad de la población, el nivel de intolerancia hacia grupos étnicos diferentes al propio, el grado de heterogeneidad cultural, el tamaño del vecindario y el tamaño de las minorías en la segregación étnica espacial urbana (medida a través del índice de disimilaridad). En particular, se han realizado una serie de experimentos virtuales con un modelo basado en agentes construido a partir del modelo de Schelling, pero con presupuestos sobre el comportamiento de los individuos más realistas. Los resultados de los experimentos virtuales podrían ayudar a diseñar políticas sociales dirigidas a reducir la segregación étnica espacial urbana en sociedades multiétnicas.

Palabras clave: Simulación basada en agentes, modelo de Schelling, índice de disimilaridad, experimentos virtuales.

ABSTRACT

This work attempts to analyse the urban spatial ethnic segregation through an agent-based model. For that purpose, it studies the effect of variables as the density of population, the level of intolerance towards different ethnic groups, the level of cultural diversity, the size of neighbourhood and the size of minorities on the urban spatial ethnic segregation (measured by the index of dissimilarity). In particular, it carries out virtual experiments with an agent-based model building from Schelling's model, but with assumptions about the behaviour of individuals more realistic. The results of virtual experiments could help to design social policies in order to reduce the urban spatial ethnic segregation in multiethnic societies.

Keywords: Agent-based modelling, Schelling's model, the index of dissimilarity, virtual experiments.

¹ Artículo recibido el 15 de agosto de 2015, aceptado el 10 de abril de 2016 y corregido el 17 de mayo de 2017.

² Departamento de Sociología y Trabajo Social, Universidad de Valladolid (España). E-mail: joseignacio.garcia-valdecasas@uva.es

³ Departamento de Sociología y Psicología, Universidad de Zaragoza (España). E-mail: ivalopez@unizar.es

Uno de los espacios de interés común a muchas ciencias sociales es la relación entre los micro fundamentos y las macro propiedades de los fenómenos sociales (Alexander et al., 1994; Ritzer, 1990), es decir, el vínculo micro-macro de los fenómenos sociales. Así pues, muchas ciencias sociales se afanan por analizar cómo las acciones de los individuos dan lugar a las estructuras e instituciones sociales, y, a su vez, cómo dichas estructuras e instituciones influyen sobre tales acciones (Boudon, 1982; Coleman, 1994; Elster, 2007; Giddens, 1984; Granovetter, 1978). A pesar de la importancia de dicho vínculo entre el nivel micro y macro para entender los fenómenos sociales, su análisis no está exento de dificultades (Hedström, 2005) quizás por la falta de instrumentos adecuados. Sin embargo, la utilización de modelos basados en agentes abre una nueva vía para tratar de entender algún aspecto de dicho vínculo de manera relativamente simple (Squazzoni, 2012).

La simulación basada en agentes (*agent-based modelling*) es un novedoso método de investigación social (Axelrod, 1997; Epstein, 2006; García-Valdecasas, 2011, 2016; Gilbert, 2008; Gilbert y Abbott, 2005; Gilbert y Troitzsch, 2005; Macy y Flache, 2009; Squazzoni, 2012) que puede explicar de manera relativamente sencilla cómo emergen las estructuras e instituciones sociales a partir de las acciones individuales, y, a su vez, cómo influyen dichas estructuras e instituciones en tales acciones, integrando de esta manera el nivel micro y macro de los fenómenos sociales. Además, permite realizar experimentos imposibles o difíciles de llevar a cabo con otras metodologías, así como evaluar políticas sociales *a priori* previendo sus resultados (a menudo inesperados) antes de ser implantadas. Pero quizás lo más interesante de esta metodología es que puede utilizarse como guía de la investigación empírica; esto es, puede generar diferentes hipótesis que pueden ser contrastadas empíricamente, como lo hace habitualmente la teoría social.

Uno de los modelos basados en agentes más utilizado en ciencias sociales es el de Schelling (1969; 1971; 1978). Dicho modelo trata de explicar los patrones observados de segregación étnica espacial urbana (en el nivel macro) a partir del comportamiento de los individuos (en el nivel micro). Schelling usa un modelo muy rudimentario y analiza cómo las preferencias de los individuos sobre dónde vivir pueden dar lugar a patrones de segregación inesperados (Bruch y Mare, 2006). De esta manera, puede explicar la persistencia de la segregación étnica espacial en zonas urbanas a pesar de que sus habitantes no tengan prejuicios étnicos.

Una hipótesis de investigación loable es que los individuos con características sociales similares como la renta, etnicidad, sexo, lenguaje, entre otros, tienden a agruparse en los mismos espacios físicos y sociales. Por ejemplo, diferentes grupos étnicos en EE.UU. (uno de los casos más estudiados) tienden a residir en comunidades separadas (Massey y Denton, 1993).

Se puede definir la segregación étnica, en términos generales, como la distribución no aleatoria de individuos que pertenecen a diferentes grupos étnicos en distintos lugares físicos y sociales (James y Taeuber, 1985). Asimismo, la segregación urbana se refiere a la diferente distribución de individuos de distintos grupos sociales a través de un espacio urbano. Aunque las causas de la segregación todavía no son plenamente conocidas, la segregación puede ser causa de importantes desigualdades socioeconómicas (Crane, 1991). Algunas de las publicaciones más destacadas sobre segregación espacial urbana de autores hispanohablantes son las de Azócar et al. (2008), Checa y Arjona (2006), Echazarra (2010), Escolano (2007), Garín, Salvo y Bravo (2009), Martínez del Olmo y Leal (2008), Ortiz y Escolano (2012), y Rodríguez et al. (2008).

El objetivo principal de este trabajo de investigación es mostrar la relevancia de los modelos basados en agentes para el análisis de la segregación étnica espacial urbana. Para ello, se presenta un nuevo modelo basado en agentes, partiendo del modelo de Schelling, pero con presupuestos más realistas sobre el comportamiento de los agentes con el fin de realizar algunos experimentos virtuales. Los resultados de los experimentos podrían, por una parte, explicar por qué algunas políticas sociales sobre integración étnica desarrolladas en diversos países han fracasado, y, por otra parte, proponer nuevas políticas sociales con la meta de aumentar la cohesión social en sociedades cada vez más multiétnicas.

El artículo está organizado de la siguiente manera: primero, se describe la versión de Wilensky (1997; 1999) del modelo de Schelling sobre segregación étnica espacial urbana y diferentes extensiones de dicho modelo. Segundo, se presenta un nuevo modelo con presupuestos más realistas sobre el comportamiento individual, a partir del modelo de Schelling. Tercero, se realizan una serie de experimentos virtuales para analizar el efecto de variables como la densidad de la población, el tamaño de las minorías, el tamaño del vecindario, el nivel de intolerancia de los individuos frente a otros grupos étnicos diferentes al suyo y la heterogeneidad cultural en la segregación étnica espacial urbana. Por último, se discuten los resultados de dichos experimentos.

Modelos sobre segregación étnica espacial urbana

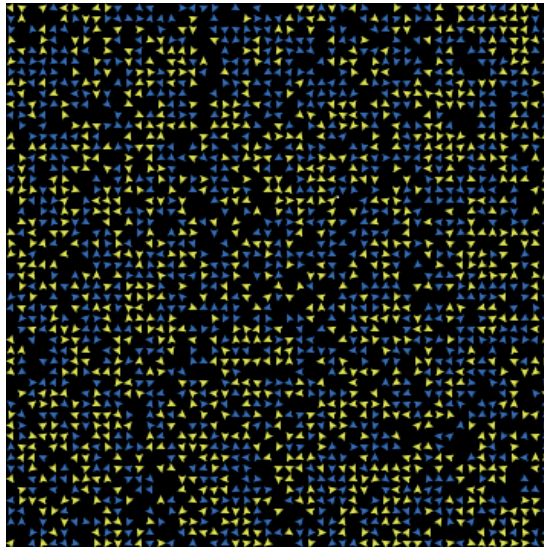
El modelo de segregación étnica espacial urbana de Schelling (1969, 1971, 1978) representa un hito en el análisis de los fenómenos sociales emergentes a partir de las interacciones locales de los agentes que constituyen dichos fenómenos. El modelo de Schelling pretende explicar cómo puede emerger la segregación étnica en espacios urbanos incluso cuando los prejuicios étnicos de los individuos de dichas zonas son relativamente bajos. Esto es, trata de explicar un fenómeno social inesperado como es la persistencia de segregación étnica en ciudades de EE.UU. en la década de los 70 constituidas por individuos relativamente tolerantes desde un punto de vista étnico. A su vez, cabe también destacar que Sadoka (1971) propuso un modelo equivalente al de Schelling basado en principios similares, y ambos modelos utilizaron un tablero de ajedrez y unas fichas de dos tipos de colores. Si bien en la actualidad se emplean versiones mucho más sofisticadas de dichos modelos en los que se ha sustituido el tablero y las fichas por una cuadrícula de celdas y por un conjunto de agentes computacionales, respectivamente (Aydinonat, 2007).

El modelo de Schelling es uno de los modelos basados en agentes que goza de más aceptación en ciencias sociales, y ello básicamente por cinco motivos (Gilbert, 2008; Squazzoni, 2012): en primer lugar, es un modelo fácil de entender y sencillo de manejar (solo tiene dos parámetros); en segundo lugar, es tan general, que se puede extender para explicar otros fenómenos sociales similares; tercero, los resultados parecen bastante robustos para un amplio rango de valores de la función umbral (interpretado como nivel de intolerancia), diferentes reglas del movimiento de los agentes y distintos tipos de vecindario; cuarto, los resultados del modelo son susceptibles de ser comprobados empíricamente; por último, muestra de manera contraintuitiva que la segregación étnica observada en algunas ciudades puede ser el resultado de las interacciones locales entre individuos antes que de los prejuicios étnicos de dichos individuos, conclusión con importantes implicaciones para el ámbito del diseño institucional de políticas sociales.

A continuación se describe una versión computacional del modelo de Schelling escrita en el lenguaje de programación NetLogo (Wilensky, 1997, 1999). El modelo está constituido por una cuadrícula de parcelas (dimensión 51x51 en un "toroide") que representa un área urbana y un conjunto de agentes que simboliza a los habitantes de dicha zona urbana (Figura N° 1). Además, existen dos tipos de agentes (amarillos y azules) que representan a dos clases distintas de etnias: el 50% de los agentes son de color azul y el otro 50% son de color amarillo. Los agentes se distribuyen inicialmente al azar por la cuadrícula y cada parcela solo puede estar ocupada por un agente al mismo tiempo. Como resultado, las celdas solo pueden estar en tres estados distintos: ocupadas por un agente de color amarillo, ocupadas por un agente de color azul, o no estar ocupada por nadie, y en cuyo caso son de color negro.

Figura N° 1

Una ciudad como una cuadrícula de parcelas y un conjunto de agentes



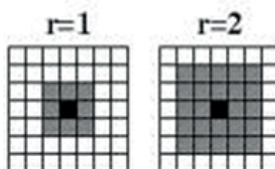
Fuente: Elaboración propia basado en Wilensky (1997, 1999)

El vecindario de un agente está formado por los agentes que pueden ocupar las 8 celdas alrededor de la celda donde está situado dicho agente. En la literatura se pueden considerar dos tipos de vecindarios: el vecindario de Moore (llamado así debido a Edward Moore que empleó este vecindario en su célebre artículo "Machine Models of Self-reproduccion" (1970)) y el de von Neumann (llamado así en honor al científico computacional John von Newmann). El número de celdas del vecindario de Moore de radio r (Figura N° 2) viene dado por la siguiente expresión:

$$(2r + 1)^2 - 1$$

Si r vale 1, entonces el número de celdas es 8 (vecindario de Moore de radio 1), y, por tanto, el número máximo de vecinos es 8. Este es el vecindario utilizado por el modelo de Schelling.

Figura N° 2
Vecindario de Moore



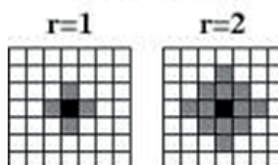
Fuente: Elaboración propia.

El número de celdas del vecindario de von Neumann de radio r (Figura N° 3) viene dado por la expresión:

$$2r(r + 1)$$

Si r es igual a 1, el número de celdas es 4 (vecindario de von Neumann de radio 1), y, por consiguiente, el número máximo de vecinos es 4. En este caso, los vecinos de un agente son los agentes que ocupan las 4 celdas ortogonales alrededor de la celda en la que se encuentra dicho agente.

Figura N° 3
Vecindario de Von Neumann



Fuente: Elaboración propia.

Un aspecto clave del modelo es la satisfacción o no de los agentes en las celdas donde están ubicados. Los agentes se encuentran satisfechos en la celdas que ocupan (su lugar de residencia) si la proporción de sus vecinos de su mismo color es igual o superior a una función umbral (μ), que puede ser interpretada como un umbral de intolerancia. En este modelo se parte del presupuesto de que todos los agentes tienen el mismo umbral de intolerancia respecto al vecindario. Supongamos que el μ de un agente es, por ejemplo, 30%; esto quiere decir que si el 30% o más de sus vecinos son de su mismo color, entonces el agente se encuentra satisfecho con su lugar de residencia y permanece en el mismo sitio. Por el contrario, si menos del 30% de sus vecinos son de su mismo grupo, entonces el agente se siente insatisfecho con su lugar de residencia y se traslada a otra celda vacía al azar. Es decir, los agentes deciden si se cambian a otro lugar o permanecen en el mismo sitio a partir de la información que obtienen sobre su vecindario. En este sentido, nótese que cuando un agente decide marcharse a otro vecindario no solo modifica la composición étnica de su antiguo vecindario sino también la del nuevo, lo cual a su vez puede ocasionar salidas de otros agentes de sus vecindarios. Esto es, las acciones de los agentes pueden cambiar

la composición de los vecindarios de otros agentes, y, por tanto, modificar las acciones de estos, iniciándose así una reacción en cadena.

Cuando se ejecuta la versión del modelo de Schelling, los resultados muestran lo siguiente: primero, para $\mu < 30\%$ (agentes bastante tolerantes) no se forman guetos (barrios segregados) y se alcanza el estado de equilibrio rápidamente (aquel estado donde todos los agentes están satisfechos) (Figura N° 4). Segundo, para μ entre 30% y 75% aparecen guetos y el equilibrio se alcanza lentamente (Figuras N° 5 y N° 6); y, en este sentido, nótese que para agentes relativamente tolerantes, por ejemplo, con un $\mu = 40\%$, se forman guetos (resultado inesperado). Por último, para $\mu > 75\%$ (agentes bastante intolerantes) parece que no se forman guetos y que nunca se alcanza el equilibrio (Figura N° 7); sin embargo, desde un punto de vista matemático, si el modelo se representa como una cadena de Márkov interactiva, se puede demostrar que finalmente llega al equilibrio, es decir, todos los agentes están satisfechos y además se forman guetos⁴. Una cadena de Márkov es un proceso estocástico discreto en el que la probabilidad de que ocurra un evento depende solamente del evento inmediatamente anterior.

En resumen, la importancia de este modelo radica en que explica la formación de guetos en ciudades constituidas por individuos ligeramente tolerantes ($\mu = 40\%$) que deciden quedarse en su lugar de residencia o mudarse a otro sitio a partir de la composición étnica de su vecindario.

Por último, los mismos modelos basados en agentes pueden ser utilizados por distintos campos de conocimiento para analizar diferentes fenómenos, de manera que se puede favorecer así la colaboración multidisciplinar. Un ejemplo paradigmático de diálogo interdisciplinar se puede encontrar en el modelo de Ising (1944) y el modelo de Schelling (1978). El primero es un modelo de la física que pretende analizar el comportamiento de materiales ferromagnéticos, mientras que el segundo es un modelo de las ciencias sociales que permite estudiar la segregación étnica espacial urbana. De hecho, el segundo (el modelo de Schelling) es un caso particular del primero (el modelo de Ising).

El modelo original de Schelling es muy simple y muy abstracto, pero ha influido enormemente en otros modelos creados con el objetivo de analizar la persistencia de la segregación étnica en espacios urbanos no solo en EE.UU., sino también en otras partes del mundo. Así, muchos de estos modelos son extensiones del modelo original con el objetivo de encontrar generalizaciones teóricas y aplicaciones empíricas (Squazzoni 2012: 92-97). Por ejemplo, Epstein y Axtell (1996) comprobaron la robustez de los descubrimientos del modelo de Schelling utilizando un vecindario de Von Neumann de radio 1 y diferentes reglas de movimiento de los agentes insatisfechos (por ejemplo, mudarse a un sitio libre al azar, cambiarse a un lugar satisfactorio cualquiera, trasladarse a la parcela satisfactoria más cercana, etc.). Por su parte, Fagiolo *et al.* (2007) confirmaron la persistencia de la segregación para umbrales de intolerancia relativamente bajos en diferentes tipos de estructuras de red (al azar, mundos pequeños y redes de escala libre) y no solo en la estructura regular utilizada en el modelo de Schelling. De manera similar, el modelo de Gilbert (2002) también apoyó los descubrimientos del modelo de Schelling y mostró que agentes más sofisticados desde un punto de vista cognitivo (capaces de detectar características emergentes y actuar en consecuencia) llevan a patrones incluso más segregados.

⁴ Véase el apéndice "Schelling's model of spatial segregation" en <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/1/6/appendixB/Schelling1969.html>

Figura N° 4
(N =2000; $\mu=20\%$)

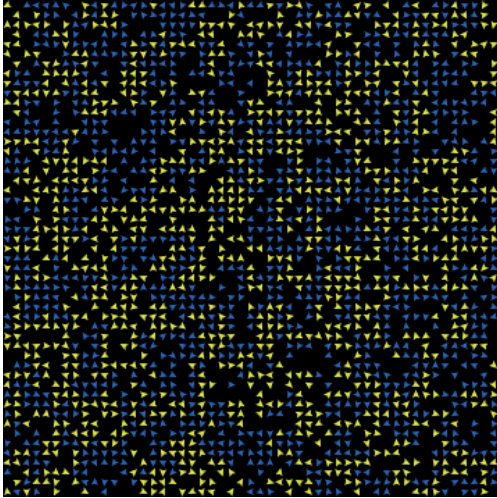


Figura N° 5
(N=2000; $\mu=40\%$)

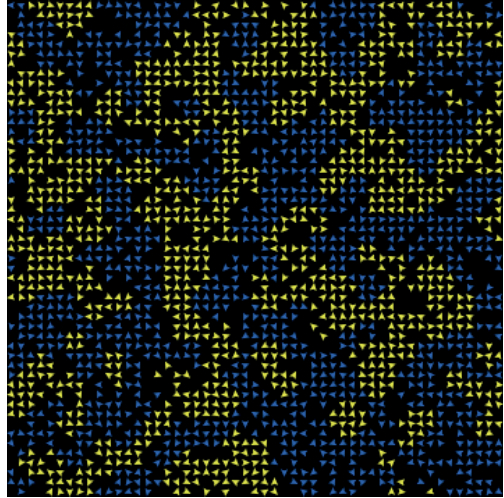


Figura N° 6
(N=2000; $\mu=75\%$)

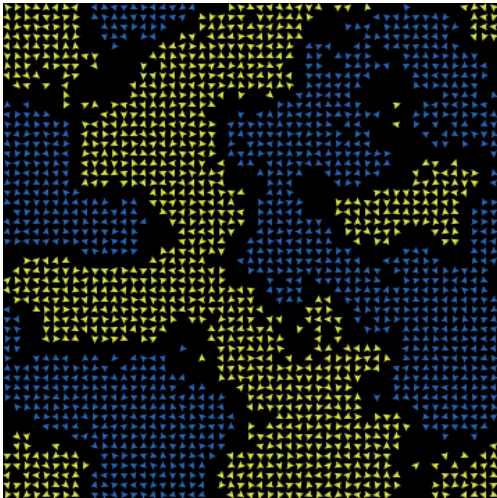
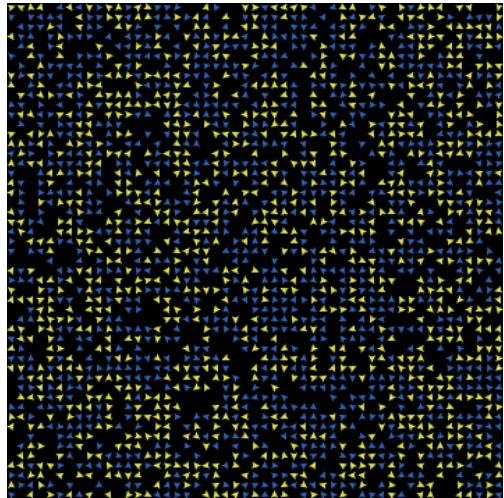


Figura N° 7
(N=2000; $\mu=85\%$)



Fuente: Elaboración propia.

A partir de datos empíricos, Bruch y Mare (2006; 2009) mostraron que la probabilidad de los individuos de cambiar de lugar de residencia es una función continua que depende de la composición del vecindario, y no una función umbral, como presupone el modelo de Schelling. Es decir, a medida que se reduce la proporción de vecinos del mismo color, se incrementa la probabilidad de cambiar de parcela. En cambio, en el modelo de Schelling la probabilidad de mudarse a otro sitio es 0 si la proporción de vecinos es mayor o igual que la función umbral y 1 si es menor. Por

ejemplo, si $\mu = 50\%$, los agentes están igualmente insatisfechos si la proporción de vecinos de su mismo color es del 40% o del 10%. Estos autores mostraron que si la probabilidad de cambiar de lugar de residencia es lineal respecto a la composición del vecindario, el grado de segregación se reduce, y, por tanto, no se explicaría la alta segregación observada en ciudades estadounidenses. Concluyeron que las preferencias étnicas por sí solas no pueden explicar los patrones de segregación observados en muchas ciudades de Estados Unidos y que otros factores como la renta o el precio de la casa deberían también tenerse en cuenta para explicar dicha segregación. Otros trabajos de investigación han reconocido también la importancia del modelo de tenencia de la vivienda (propiedad, alquiler, alquiler social, etc.) en la dinámica de la segregación espacial urbana (Barrios y Rodríguez, 2005).

Un nuevo modelo

La extensión de modelos que se denominada de forma genérica TAPAS (take a previous model and add something) es una estrategia que permite ahorrar tiempo y energía, ya que evita tener que hacer lo mismo dos veces. En este trabajo de investigación, se ha extendido el modelo de Schelling con presupuestos más realistas sobre el comportamiento de los individuos con el objetivo de realizar experimentos virtuales que ayuden a analizar con más profundidad la segregación étnica espacial urbana. En nuestro modelo, no hemos cambiado la topología de la cuadrícula (toroide) para poder comparar nuestros resultados con los resultados de la versión de Wilensky del modelo de Schelling.

El nuevo modelo parte del modelo de Schelling, pero modifica los siguientes aspectos:

1) en el modelo de Schelling todos los agentes tienen el mismo umbral de intolerancia; sin embargo, en el nuevo modelo el umbral de intolerancia de la población de agentes tiene una distribución aproximadamente normal, como muchas otras variables sociológicas. La "distribución normal" está caracterizada por su media y desviación típica. La desviación típica puede ser considerada como una medida de la heterogeneidad respecto a la intolerancia de la población (si la desviación típica es cero, la población es completamente homogénea). Así pues, se podrá analizar el efecto del nivel de heterogeneidad de los agentes sobre la segregación.

Dicho lo anterior, conviene ahora resaltar que la función de distribución del umbral de intolerancia no siempre es normal y depende en gran medida de los grupos étnicos puestos en contacto como acredita la investigación empírica. Además, no solo se puede analizar el impacto de los niveles de intolerancia sobre la segregación, sino también se podría estudiar la influencia de la segregación en los niveles de intolerancia puesto que dicha intolerancia depende del conocimiento e intensidad de los contactos entre las minorías a los que la trama urbana no es ajena.

2) El modelo de Schelling utiliza un único tipo de vecindario (el vecindario de Moore de radio 1); por el contrario, en el nuevo modelo se puede utilizar diferentes radios de vecindarios de Von Neumann, lo que permitirá examinar el impacto del tamaño del vecindario sobre la segregación. Es difícil estudiar empíricamente dicho impacto; sin embargo, los modelos basados en agentes permiten explorar tal influencia.

3) En el modelo de Schelling, los distintos grupos poseen la misma proporción (50%); sin embargo, en el nuevo modelo se puede variar la proporción de agentes de dichos grupos, y, en consecuencia, se podrá estudiar el efecto del tamaño de las minoras sobre la segregación.

4) Otra característica importante del nuevo modelo es que los agentes son más “inteligentes” que los agentes de la versión del modelo de Schelling a la hora de elegir un nuevo lugar de residencia cuando se encuentran insatisfechos en las parcelas que habitan, de manera que atienden a la siguiente secuencia lógica: primero, seleccionan todas parcelas libres de la cuadrícula para cada agente insatisfecho; segundo, eligen de las parcelas libres aquellas donde el agente estaría satisfecho; tercero, escoge aquella parcela más cercana al lugar de residencia del agente entre las parcelas satisfactorias; por último, si no encuentra ninguna parcela satisfactoria, entonces el agente se mueve a la parcela con más proporción de vecinos de su mismo color independientemente de dónde esté, o se queda en la parcela donde ya está en el caso de que sea la que contiene la mayor proporción de vecinos de su mismo color.

El modelo modificado tiene cinco parámetros (variables independientes): el número de agentes (N); el porcentaje de agentes del grupo minoritario frente al total (P); la media de la distribución normal del umbral de intolerancia (μ); la desviación típica de la distribución normal del umbral de intolerancia (σ); y el radio del vecindario de Von Neumann (R). Así pues, el modelo tiene tres parámetros más que el modelo de Schelling, pero no es demasiado complejo de manejar e interpretar.

Las variables dependientes del modelo son cuatro: la densidad de la población de agentes (D); la insatisfacción, definida como el porcentaje de agentes insatisfechos (U); la similaridad, definida como el porcentaje medio de vecinos del mismo color de cada agente (S); y el índice de disimilaridad (I) (ampliamente utilizado en demografía, o en investigaciones sobre movilidad social entre otras.) que puede ser considerado como una medida del grado de segregación.

La densidad en tanto por ciento (D) se calcula a partir del número total de agentes (N) y del número total de parcelas (T) mediante la siguiente expresión:

$$D = N / T \cdot 100$$

Si el número de agentes es, por ejemplo, 1000, y el número total de parcelas es $51 \cdot 51 = 2601$, entonces D es $1000 / 2601 \cdot 100 = 38.45\%$. Para calcular la insatisfacción en tanto por ciento (U), se suma el número de agentes insatisfechos con su lugar de residencia, se divide por el número total de agentes y se multiplica por 100. A su vez, para determinar la similaridad en tanto por ciento (S), se suma el número de vecinos del mismo grupo de cada uno de los agentes y se suma también el número de vecinos de cada agente; posteriormente se divide la primera entre la segunda suma y se multiplica por 100. Finalmente, el índice de disimilaridad (I) es una medida clásica de la uniformidad con que dos grupos mutuamente excluyentes se distribuyen a través de áreas que constituyen un área geográfica mayor. Se calcula a través de la siguiente expresión:

$$I = 1/2 \sum_{i=1}^N \left| \frac{x_i}{X} - \frac{y_i}{Y} \right|$$

Consideremos que existen dos grupos étnicos en el espacio urbano, y donde N es el número total de agentes de ambos grupos, x_i el número de agentes del primer grupo en el vecindario i , X el número total de agentes del primer grupo en todo el espacio, y_i el número de agentes del segundo grupo en el vecindario i , e Y el número total de agentes del segundo grupo en todo el espacio. Se cumple que $N = X + Y$. El valor mínimo del índice de disimilaridad (I) en tanto por ciento es cero y el máximo es cien. Si vale cero, entonces no existe segregación; pero si vale cien, se observa segregación total. De esta forma, cuanto mayor sea I , más segregación tiene lugar. Existen muchas medidas del grado de segregación espacial que se pueden agrupar, según la literatura, en cinco dimensiones: uniformidad, exposición, concentración, centralización y agrupamiento (Massey y Denton, 1988). Todas las medidas se correlacionan cuando se trata de escenarios con una alta segregación, pero en otros casos no siempre son equivalentes (Massey y Denton, 1989; 1993). No hay acuerdo sobre cuál medida es mejor utilizar y bajo qué circunstancias (Massey y Denton, 1988). Sin embargo, el índice de disimilaridad puede ser adecuado para los objetivos de este trabajo, aunque tenga ciertas limitaciones como es su insensibilidad a la distancia entre guetos de grupos diferentes. Paralelamente, se han utilizado otras medidas del grado de segregación, obteniendo conclusiones finales equivalentes.

Asimismo, no se conoce ningún criterio puramente objetivo para decidir cuándo se forman guetos (barrios segregados) en el modelo. El criterio utilizado en este trabajo es el siguiente: se forman guetos cuando $S \geq 70\%$ (Figuras N° 8 y N° 9). Sin embargo, otros criterios también son posibles. En cualquier caso, la mayoría de los criterios conducen a conclusiones finales parecidas.

El algoritmo del nuevo modelo puede observarse en el Cuadro N° 1. Se puede considerar un algoritmo como una secuencia finita de instrucciones que describen de una forma clara, coherente y precisa las operaciones que se deben realizar para llevar a cabo una determinada tarea (Knuth, 1968). Es decir, un algoritmo es una serie ordenada de pasos para encontrar la solución a un problema planteado. Tiene normalmente datos de entrada y siempre posee al menos un dato de salida. Los algoritmos pueden ser expresados de muchas formas, por ejemplo en lenguaje natural, diagramas de flujo o lenguajes de programación.

Figura N° 8

No formación de guetos

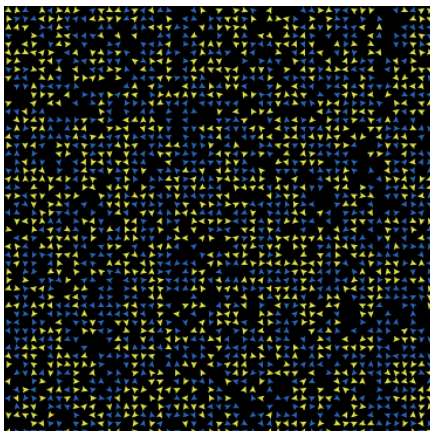
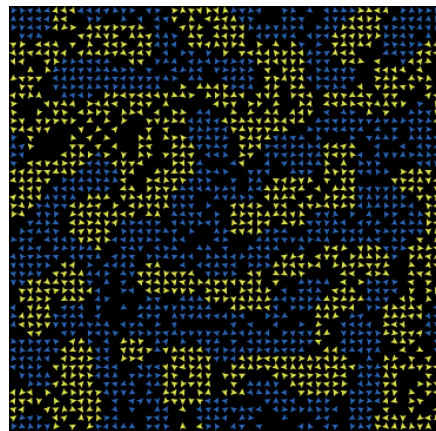
 $(S=52.3\% < 70\%)$ $(N= 2000; \mu= 20\%; \sigma=1; R=2; P=50\%)$ 

Figura N° 9

Formación de guetos

 $(S=87\% > 70\%)$ $(N= 2000; \mu= 50\%; \sigma=1; R=2; P=50\%)$ 

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 1
Diagrama de flujo del nuevo modelo

| Paso | Descripción |
|------|---|
| 0 | Iniciar el programa. |
| 1 | Los datos de entrada son: N (número de agentes); P (porcentaje de agentes de un grupo); μ (media del umbral de intolerancia); σ (desviación típica del umbral de intolerancia); R (radio del vecindario). Paso de tiempo = 0 |
| 2 | Distribuir los N agentes de manera aleatoria entre las celdas de la cuadrícula. Una celda solo puede estar ocupada por un agente. |
| 3 | Elegir un agente no evaluado al azar. |
| 4 | Calcular la proporción de vecinos de su mismo color. |
| 5 | Si la proporción de vecinos de su mismo color es superior o igual a su umbral de intolerancia (μ_i), el agente está satisfecho; por el contrario, si es inferior, está insatisfecho. |
| 6 | Preguntar si todos los agentes han sido evaluados. Si la respuesta es sí, ir al paso 7; pero si no, ir al paso 3 para seleccionar un agente no evaluado. |
| 7 | Mostrar la densidad (D); el porcentaje de agentes insatisfechos (U); el porcentaje medio de vecinos con el mismo color (S); y el índice de disimilaridad (I). Añadir una unidad al paso de tiempo. |
| 8 | Si todos los agentes están satisfechos (estado de equilibrio), ir al paso 10; pero si no todos están satisfechos, ir al paso 9. |
| 9 | Mover cada uno de los agentes insatisfechos a la celda satisfactoria más cercana. Si no hay celdas satisfactorias, mover los agentes a celdas donde la proporción de su grupo sea la mayor posible. Si la celda que ocupan es la que tiene la mayor proporción de agentes de su color, entonces permanecer en el mismo sitio. Ir al paso 3 para evaluar de nuevo a todos los agentes. |
| 10 | Fin del programa |

Fuente: Elaboración propia

Experimentos virtuales

Realizar experimentos en ciencias sociales puede ser bastante complicado y a menudo imposible, entre otras razones por la dificultad de aislar fenómenos sociales para su análisis o de llevar a cabo experimentos a escala social. Además, pueden surgir en algunos casos barreras morales que impidan llevar a cabo dichos experimentos: por ejemplo, no se debería (desde un punto de vista moral) cometer actos terroristas en un país para estudiar sus efectos sobre las elecciones en dicho lugar.

Por el contrario, los modelos basados en agentes permiten llevar a cabo experimentos virtuales ya que pueden aislar virtualmente fenómenos sociales, así como realizarlos a gran escala. Además, no plantean ningún problema moral debido a la utilización de agentes artificiales y se pueden llevar a cabo dichos experimentos tantas veces como se quiera. Más aún, es importante subrayar que si un modelo representa apropiadamente un proceso social, los resultados de los

experimentos virtuales realizados con dicho modelo tienen la capacidad de poder ser aplicados a tal proceso social, hecho que abre las puertas al diseño de políticas sociales a través de modelos basados en agentes.

Los modelos son siempre representaciones simplificadas de algún aspecto de la realidad cuya finalidad es explicar, describir y/o predecir dicho aspecto de la realidad. Aunque la complejidad de la realidad no se puede reducir a la simplicidad de un modelo, sin modelos no podemos explicar dicha realidad (García-Valdecasas, 2014). Las ciencias sociales utilizan numerosos tipos de modelos, uno de los cuales son los modelos basados en agentes. Estos modelos permiten aplicar con total facilidad en sus experimentos virtuales la clausula "ceteris paribus", es decir, permiten mantener todas las variables independientes constantes, excepto aquella en la que se quiere analizar su efecto sobre una variable dependiente. En particular, el modelo aquí presentado pretende analizar cómo influye la densidad de población en la segregación étnica espacial urbana manteniendo constantes el resto de variables independientes consideradas.

Varios experimentos virtuales se han llevado a cabo con el modelo presentado en este trabajo, habiéndose realizado 50 veces cada uno de ellos y registrado los valores medios. El espacio paramétrico de cada experimento se ha especificado debajo de la figura correspondiente. Si una ejecución del modelo no alcanza el estado de equilibrio (donde todos los agentes están satisfechos con sus lugares de residencia), y, por tanto, el programa no se detiene, se limita dicha ejecución a 10000 pasos de tiempo o iteraciones, tiempo suficiente para que el modelo muestre los patrones de segregación claves aunque no llegue al equilibrio. En cualquier caso, una versión de nuestro modelo en cadenas de Markov interactivas muestra que se llegan a los mismos resultados con un millón de iteraciones.

En el primer experimento se representa un índice escalado de disimilaridad frente a la media de la distribución normal del umbral de intolerancia (μ) para diferentes densidades (D). El índice escalado de disimilaridad es igual al índice de disimilaridad final (cuando termina el experimento) dividido por el índice de disimilaridad inicial (al principio del experimento) que se calculan usando toda la cuadrícula. De esta manera se mide el incremento del índice de disimilaridad, es decir, el aumento de segregación a partir de la distribución inicial de agentes. Los resultados se pueden observar en la Figura N° 10.

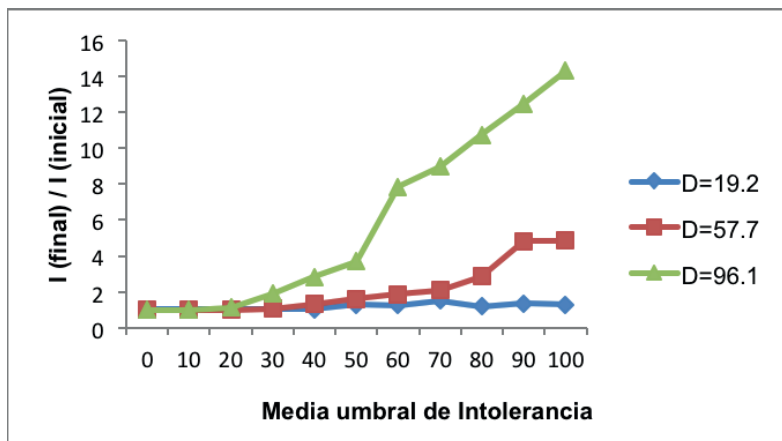
En la Figura N° 10 se observa que, a medida que aumenta la media del umbral de intolerancia, se incrementa el índice escalado de disimilaridad para densidades altas ($D=96.1$ y $D=57.7$), es decir, crece la segregación. Para densidades bajas ($D=19.2$), la segregación es independiente del umbral de intolerancia. También se observa que cuando aumenta la densidad, se incrementa la segregación para casi todos los umbrales de intolerancia.

En el segundo experimento se comparan los resultados del modelo de Schelling (figura N° 11) con los del nuevo modelo (figura N° 12). Para ello se representa la similaridad frente al umbral de intolerancia para varias densidades en ambos modelos.

En la Figura N° 12 se puede observar lo siguiente: 1) a medida que aumenta la densidad de la población de agentes (D) se reduce la similaridad (I) para prácticamente todos los valores del umbral de intolerancia (μ). 2) Por encima de la línea horizontal ($S=70\%$) se forman guetos, pero por debajo no, de acuerdo con el criterio utilizado en este trabajo. 3) A medida que aumenta

Figura N° 10

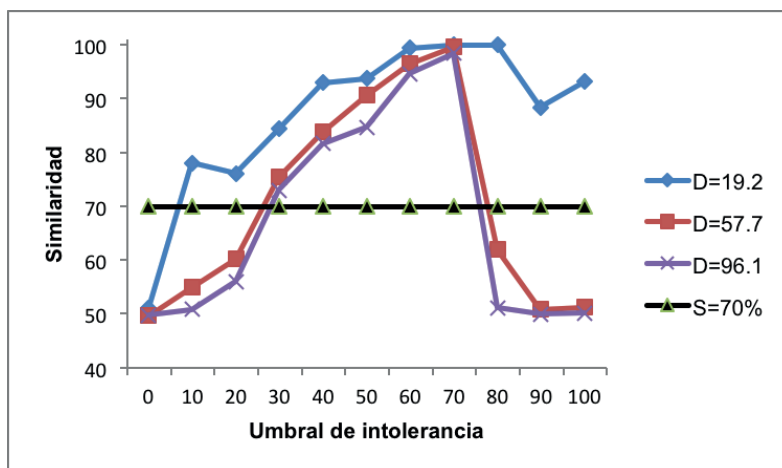
Índice escalado de disimilaridad frente a la media del umbral de intolerancia para diferentes densidades de población (espacio paramétrico: $N=500, 1500, 2500$; $\mu=0, 10, 20, \dots, 100\%$; $\sigma=5$; $R=2$; $P=50\%$)



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 11

Similitud frente al umbral de intolerancia para diferentes densidades en el modelo de Schelling (espacio paramétrico: $N=500, 1500, 2500$; $\mu=0, 10, 20, \dots, 100$)

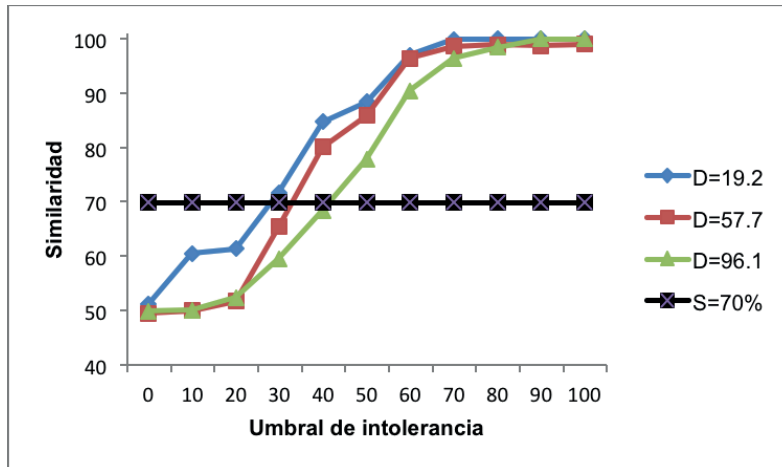


Fuente: Elaboración propia.

D se reduce el intervalo de valores del μ para el cual se forman guetos ($\mu \geq 5\%$ para $D=19.2\%$; $78\% > \mu \geq 25\%$ para $D=57.7\%$; $75\% > \mu \geq 27\%$ para $D=96.1\%$). 4) Para $\mu \geq 75\%$ (agentes muy intolerantes) y para $D=57.7\%$ y $D=96.1\%$ la similitud se reduce considerablemente y no se forman guetos (al menos para 10000 pasos de tiempo). 5) Se forman guetos para valores bajos de μ ; esto explicaría la persistencia de la segregación en zonas urbanas tolerantes.

Figura N° 12

Similaridad frente al umbral de intolerancia para diferentes densidades en el nuevo modelo (espacio paramétrico: $N=500, 1500, 2500$; $\mu=0, 10, 20, \dots, 100$; $R=2$; $\sigma=0$; $P=50\%$)



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 12 se puede observar lo siguiente: 1) a medida que se incrementa la densidad de la población de agentes (D) disminuye la similaridad (I) para muchos valores del umbral de intolerancia (μ). 2) A medida que aumenta D se reduce el intervalo de valores del μ para el cual se forman guetos ($\mu >= 27\%$ para $D=19.2\%$; $\mu >= 33\%$ para $D=57.7\%$; $\mu >= 41\%$ para $D=96.1\%$). 3) A medida que aumenta μ se incrementa I para todos los valores de densidad. 4) Se forman guetos para valores relativamente bajos de μ , esto explicaría también la persistencia de la segregación en zonas urbanas relativamente tolerantes.

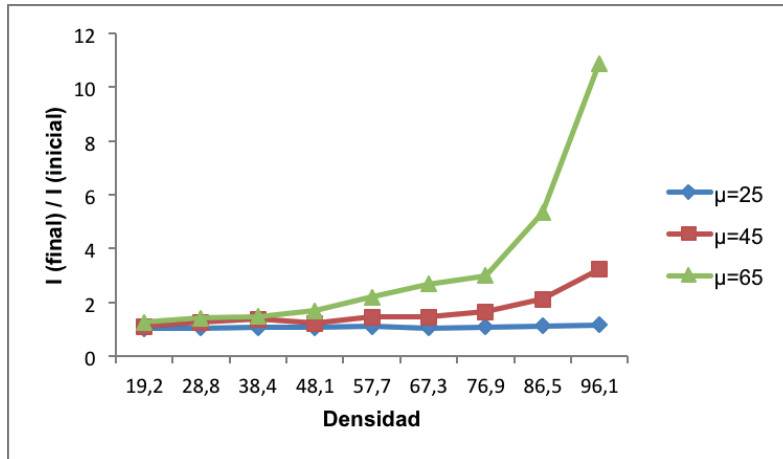
Se pueden comparar los resultados de la figura N° 11 del modelo de Schelling y los de la figura N° 12 del nuevo modelo: 1) ambos modelos muestran que cuando aumenta la densidad (D), se reduce la similaridad (I). 2) El modelo de Schelling muestra la formación de guetos para valores bajos de μ , en cambio el modelo modificado suaviza la segregación ya que no se observa la formación de guetos para valores tan bajos como los del modelo del Schelling. 3) En el modelo de Schelling no se forman guetos para agentes muy intolerantes ($\mu >= 75\%$); sin embargo, en el modelo modificado se forman guetos para dichos umbrales de intolerancia.

En el tercer experimento se representa el índice escalado de disimilaridad frente a la densidad de población de agentes (D) para diferentes umbrales de intolerancia (μ). Los resultados se pueden observar en la Figura N° 13.

En la Figura N° 13 se puede observar que, a medida que crece la densidad, aumenta el índice escalado de disimilaridad para umbrales de intolerancia altos ($\mu=65$ y $\mu=45$); esto es, se incrementa la segregación. Para umbrales de intolerancia bajos ($\mu=25$) la segregación es independiente de la densidad. También se observa que cuando se incrementa la intolerancia, aumenta la segregación para casi todas las densidades.

Figura N° 13

Índice escalado de disimilaridad frente a densidades de población para diferentes medias del umbral de intolerancia (espacio paramétrico: $N=500, 750, 1000, \dots, 2500$; $\mu=25, 45, 65\%$; $\sigma=5$; $R=2$; $P=50\%$)

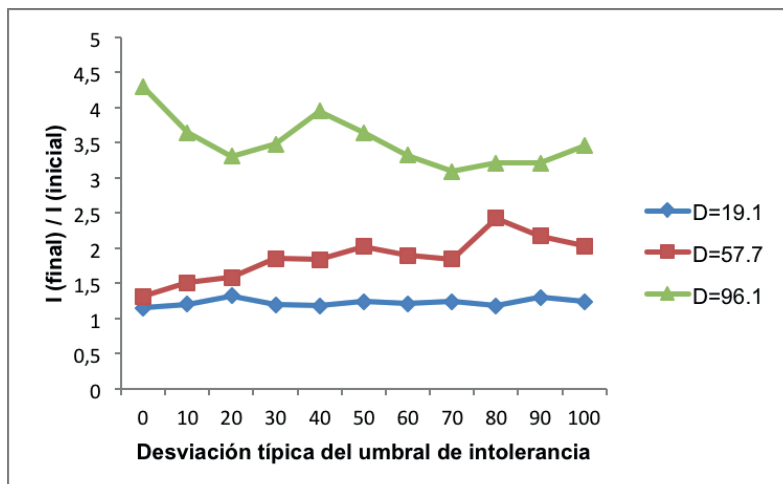


Fuente: Elaboración propia.

En el cuarto experimento se representa el índice escalado de disimilaridad frente a la desviación típica de la distribución normal de umbrales de intolerancia (σ) para diferentes densidades (D). Los resultados se pueden observar en la Figura N° 14.

Figura N° 14

Índice escalado de disimilaridad frente a las desviaciones típicas del umbral de intolerancia para diferentes densidades de población (espacio paramétrico: $N=500, 1500, 2500$; $\sigma=0, 10, 20, \dots, 100$; $\mu=50\%$; $R=2$; $P=50\%$)



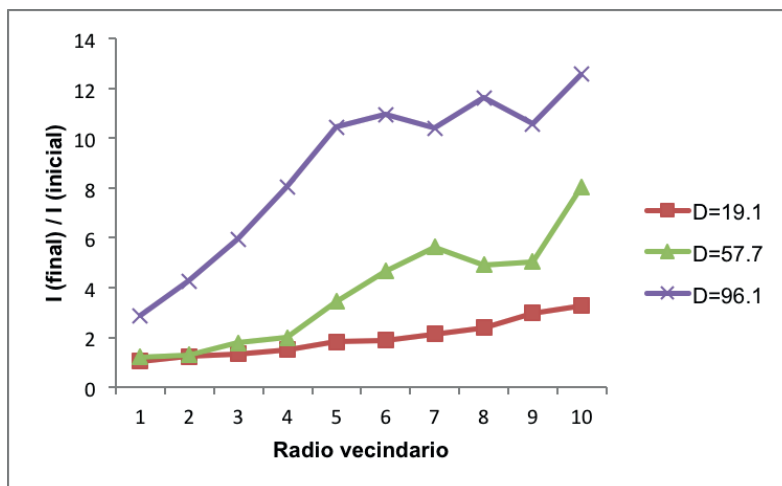
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 14 se puede observar que, el índice escalado de disimilaridad, y, por tanto, la segregación es independiente de la desviación típica del umbral de intolerancia, es decir, independiente del nivel de heterogeneidad respecto al umbral de intolerancia.

En el quinto experimento se representa el índice escalado de disimilaridad frente al tamaño del vecindario (R) para diferentes densidades (D). Los resultados se pueden observar en la Figura N° 15.

Figura N° 15

Índice escalado de disimilaridad frente al radio del vecindario para diferentes densidades de población (espacio paramétrico: N=500, 1500, 2500; R=1, 2, 3, ..., 10; $\mu=50\%$; $\sigma=5$; P=50%)



Fuente: Elaboración propia.

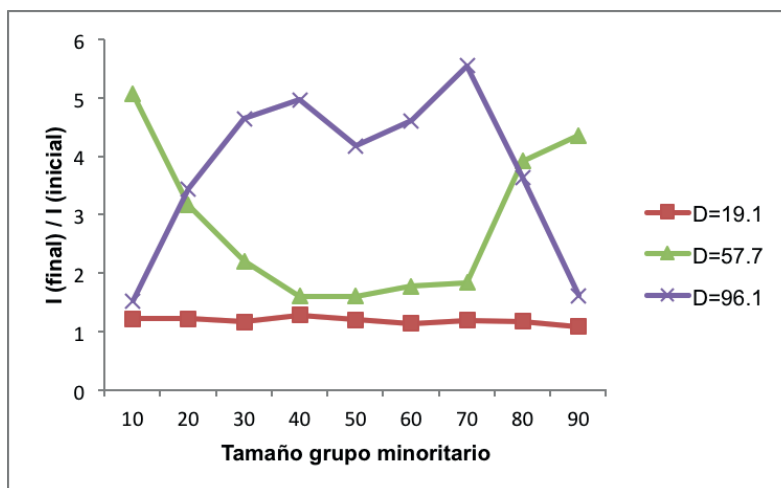
En la Figura N° 15 se puede observar que a medida que aumenta el radio del vecindario, aumenta el índice escalado de disimilaridad para todas las densidades, es decir, crece la segregación. En otras palabras, si aumenta el tamaño del vecindario, se incrementa la segregación.

En el sexto experimento se representa el índice escalado de disimilaridad frente al tamaño del grupo minoritario (P) para diferentes densidades (D). Los resultados se pueden observar en la Figura N° 16.

En la Figura N° 16 se puede observar lo siguiente: para densidades bajas (D=19.1) el índice escalado de disimilaridad, esto es, la segregación, es independiente del tamaño del grupo minoritario; para densidades intermedias (D=57.7) la segregación es mayor cuando los dos grupos tienen tamaños muy diferentes; por el contrario, para densidades altas (D=96.1) la segregación es mayor cuando los dos grupos tienen tamaño parecidos.

Figura N° 16

Índice escalado de disimilaridad frente al tamaño del grupo minoritario para diferentes densidades de población (espacio paramétrico: $N=500, 1500, 2500$; $P=10, 20, 30, \dots, 90\%$; $\mu=50\%$; $\sigma=5$; $R=2$)



Fuente: Elaboración propia.

Discusión y conclusiones

La simulación basada en agentes puede orientar a la investigación social empírica de la misma forma que la teoría sociológica discursiva lo suele hacer. Así pues, los modelos basados en agentes pueden generar diferentes hipótesis empíricas sobre los fenómenos sociales que representan. Del modelo presentado en este trabajo se derivan las siguientes hipótesis empíricas: la segregación 1) en términos generales se incrementa cuanto mayor son la intolerancia, la densidad de población, o el tamaño del vecindario; 2) es independiente de la heterogeneidad cultural respecto a la tolerancia; 3) para densidades de población bajas, la segregación es independiente del tamaño del grupo étnico minoritario; para densidades intermedias, la segregación aumenta cuando el tamaño de los grupos étnicos tiende a alejarse; sin embargo, para densidades altas, la segregación se incrementa cuando el tamaño de los grupos étnicos tiende a aproximarse. Todas estas hipótesis podrían ser comprobadas empíricamente; esta posibilidad queda fuera del alcance de este trabajo, aunque no se descarta que en futuras investigaciones se puedan realizar y darle así contenido empírico a esta investigación teórica.

Aunque los resultados del modelo de Schelling y del nuevo modelo coinciden en muchos aspectos, se diferencian en que, en primer lugar, el modelo de Schelling puede mostrar la formación de guetos para valores muy bajos del umbral de intolerancia ($\mu > 5\%$) (figura N° 11), mientras que el nuevo modelo puede mostrar la formación de guetos para valores más altos del umbral de intolerancia ($\mu > 27\%$) (figura N° 12); y en segundo lugar, en el modelo de Schelling no se forman guetos (en 10000 pasos de tiempo) para agentes muy intolerantes ($\mu > 75\%$); sin embargo, en el nuevo modelo, se forman guetos para dichos valores del umbral de intolerancia. En cualquier caso, am-

bos modelos sí muestran la persistencia de la segregación étnica en ciudades con umbrales de intolerancia relativamente bajos ($\mu < 50\%$).

La segregación en ciudades con individuos relativamente tolerantes se puede considerar como un fenómeno social emergente, entendiendo por fenómeno emergente aquel que muestra información nueva no percibida por el observador en sus elementos constituyentes cuando están aislados entre sí (Bunge, 2004). Es decir, los agentes pueden ser tolerantes (nivel individual) y al mismo tiempo darse patrones de segregación (nivel colectivo). En consecuencia, lo que se observa en el nivel macro (segregación) no se puede derivar de lo que se observa en el nivel micro (tolerancia). Como afirma la teoría de la complejidad (Mitchell, 2009), todos los fenómenos sociales emergentes son fenómenos no lineales, aunque no al revés. Un fenómeno es no lineal si y solo si el fenómeno como un todo no es igual a la suma de las partes que lo integran (Russell, 1986). Por tanto, la segregación étnica urbana es un fenómeno no lineal y esto puede observarse claramente en las Figuras N° 10, N° 11, N° 12, N° 13, N° 14, N° 15, y N° 16.

Los experimentos virtuales permiten obtener “datos” difíciles de obtener con otras metodologías. Por ejemplo, con las metodologías estándar es problemático conseguir “datos” sobre cómo influye el tamaño del vecindario en la segregación; sin embargo, con modelos basados en agentes se pueden obtener dichos “datos” con relativa sencillez. Además, se puede aplicar con facilidad la cláusula *ceteris paribus*: la segregación depende de muchas variables, pero con los experimentos virtuales se pueden mantener constantes todas las variables excepto aquella variable cuyo efecto sobre la segregación se quiere estudiar, presuponiendo que dicha variable no afecta al comportamiento de las variables que se pretenden mantener constantes.

Si los modelos basados en agentes representaran de manera adecuada los fenómenos sociales, entonces los resultados conseguidos con los experimentos virtuales realizados con dichos modelos deberían ser similares en algún sentido a los resultados obtenidos por la investigación empírica sobre dichos fenómenos. En este caso, los modelos pueden quizás servir de guía para el diseño de políticas para tratar diversos problemas sociales; es decir, en la medida en que el modelo propuesto en este trabajo representara de forma apropiada la segregación étnica espacial urbana y esto ocurre cuando las hipótesis derivadas del modelo se comprueban empíricamente, entonces dicho modelo podrá quizás ayudar de manera efectiva en el diseño de políticas sociales con el objetivo de reducir dicha segregación en sociedades multiétnicas.

Referencias bibliográficas

ALEXANDER, J.C.; GIESEN, B.; MÜNCH, R. y SMELSER, N. *El vínculo micro-macro*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara, Gamma Editorial, 1994.

AZÓCAR, G.; HENRÍQUEZ, C.; VALENZUELA, C. y ROMERO, H. Tendencias sociodemográficas y segregación socioespacial en Los Ángeles, Chile. *Revista Geografía Norte Grande*, 2008, N° 41, p.103-128.

AXELROD, R. Advancing the art of simulation in the social science. In: CONTE, R.; HEGSELMANN, R. & TERNA P. *Simulation Social Phenomena*. Berlin: Springer-Verlag, 1997.

AYDINONAT, N. Models, conjectures and exploration: An analysis of Schelling's checkerboard model of residential segregation. *Journal of Economic Methodology*, 2007, Vol. 14, Nº 4, p. 429-454.

BARRIOS, J. y RODRIGUEZ, J. Un modelo logit multinomial mixto de tenencia de vivienda. *Revista de Economía Aplicada*, 2005, Vol. XIII, Nº 38, p. 5-27.

BOUDON, R. Sociology That Really Matter. *European Sociological Review*, 2002, Nº 18, p. 371-8.

BRUCH, E. & MARE, R. Neighborhood choice and neighborhood change. *American Journal of Sociology*, 2006, Vol. 112, Nº 3, p. 667-709.

BRUCH, E. & MARE, R. Segregation Dynamics. In: HEDSTRÖM, P. & BEARMAN, P. *The Oxford Handbook of Analytical Sociology*. Oxford: Oxford University Press, 2009, p. 269-293.

BUNGE, M. *Emergencia y Convergencia. Novedad Cualitativa y Unidad del Conocimiento*. Barcelona: Gedisa, 2004.

CHECA, J. C. y ARJONA, A. Inmigración y segregación residencial. Aproximación teórica y empírica para el caso Almeriense. *Migraciones*, 2006, Nº 20, p. 143-171.

COLEMAN, J. *Foundations of Social Theory*. Cambridge, MA: Belknap, 1994.

CRANE, J. The epidemic Theory of Ghettos and Neighborhood Effects on Dropping out and Teenage Childbearing. *American Journal of Sociology*, 1991, Nº 96, p. 1226-59.

ELSTER, J. *Explaining Social Behavior: More Nuts and Bolts for the Social Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

EPSTEIN, J. *Generative Social Science - Studies in Agent-Based Computational Modelling*. Princeton: Princeton University Press, 2006.

EPSTEIN, J. & AXTELL, R. *Growing artificial societies: social science from the bottom up*. Cambridge, MA: The MIT Press, 1996.

ECHAZARRA, A. Segregación residencial de los extranjeros en el área metropolitana de Madrid. Un análisis cuantitativo. *Revista Internacional de Sociología*, 2010, Nº 68, p. 165-197.

ESCOLANO, S. La medida de la segregación residencial urbana: análisis multiescala mediante índices de lagunaridad. *GeoFocus*, 2007, Nº 7. p. 216-234.

FAGIOLO, G.; VALENTE, M. & VRIEND, N.J. Segregation in Networks. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 2007, Nº 64, p. 316-336.

GARCÍA-VALDECASAS, J.I. La simulación basada en agentes: una nueva forma de explorar fenómenos sociales. *Revista Española Investigaciones Sociológicas (REIS)*, 2011, Nº 136, p. 91-110.

GARCÍA-VALDECASAS, J.I. Explicación, mecanismo y simulación: otra forma de hacer sociología”, *EMPIRIA, Revista de Metodología de Ciencias Sociales*, 2014, Nº 28, p. 35-58.

GARCÍA-VALDECASAS, J. I. *Simulación Basada en Agentes. Introducción a NetLogo. Cuadernos Metodológicos Nº 53*. Madrid: Centro Investigaciones Sociológicas, 2016.

GARÍN, A.; SALVO, S. y BRAVO, G. Segregación residencial y políticas de vivienda en Temuco. 1992-2002, *Revista de Geografía Norte Grande*, 2009, Nº 44, p.113-128.

GIDDENS, A. *The constitution of society: Outline of the theory of structuration*. Cambridge: Polity Press, 1984.

GILBERT, N. Varieties of emergence. In: SALLACH, D. *Social Agents: Ecology, Exchange, and Evolution*. Agent 2002 Conference. Chicago: University of Chicago and Argonne National Laboratory, 2002.

GILBERT, N. *Agent-Based Models. Quantitative applications in the social science 153*. London: Sage, 2008.

GILBERT, N. & ABBOTT, A. Social Science Computation. *American Journal of Sociology*, 2005, Vol. 110, Nº 4, p. 859-863.

GILBERT, N. & TROITZSCH, K. G. *Simulation for the Social Scientist*. Milton Keynes: Open University Press, 2005.

GRANOVETTER, M. Threshold Models of collective Behaviour. *American Journal of Sociology*, 1978, Nº 83, p. 1420-43.

HEDSTRÖM, P. *Dissecting the Social*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

ISING, E. Contribution to the Theory of Ferromagnetism. *Phys. Rev.*, 1944, Nº 65, p. 117-149.

JAMES, D.R. & TAEUBER, K.E. Measures of Segregation. *Sociological Methodology*, 1985, Nº 15, p. 1-32.

KNUTH, D. *The Art of Computer Programming: Fundamental algorithms*. San Jose, CA: Pearson, 1968.

MACY, M.W. & FLACHE, A. Social Dynamics from the Bottom Up: Agent-Based Model of Social Interaction. In: HEDSTRÖM, P. & BEARMAN, P. *The Oxford Handbook of Analytical Sociology*. Oxford: Oxford University Press, 2009. Disponible en Internet: <http://www.oxfordhandbooks.com/view/10.1093/oxfordhb/9780199215362.001.0001/oxfordhb-9780199215362-e-11>

MARTÍNEZ, A. y LEAL, J. La segregación residencial, un indicador espacial confuso en la representación de la problemática residencial de los inmigrantes económicos. El caso de la Comunidad de Madrid. *ACE. Architecture, city and environment*, 2008, Nº 8, p. 53-64.

MASSEY, D.S. & DENTON, N.A. The Dimensions of Residential Segregation. *Social Forces*, 1988, Vol. 67, Nº 2, p. 281-315.

MASSEY, D.S. & DENTON, N.A. Hipersegregation in United States Metropolitan Areas - Black and Hispanic Segregation along 5 Dimensions. *Demography*, 1989, Vol. 26, Nº 3, p. 373-391.

MASSEY, D.S. & DENTON, N.A. *American Apartheid*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1993.

MITCHELL, M. *Complexity: A Guided Tour*. New York: Oxford University Press, 2009.

MOORE, E.F. Machine models of self-reproduction. In: BURKS, A. *Essays on Cellular Automata*. USA: University of Illinois Press, 1970, p. 187-203.

ORTIZ, J. y ESCOLANO, S. Movilidad residencial del sector de renta alta del Gran Santiago (Chile): hacia el aumento de la complejidad de los patrones socioespaciales de segregación. *EURE*, 2013, Vol. 39, Nº 118, p. 77-96.

RITZER, G. Micro-macro linkage in sociological theory: applying a metatheoretical tool. In: RITZER, G. *Frontiers of Social Theory. The new Syntheses*. New York: Columbia University Press, 1990, p. 347 – 370.

RODRÍGUEZ, J.; AZÓCAR, G.; HENRÍQUEZ, C.; VALENZUELA, C. y ROMERO, H. Dinámica socio-demográfica metropolitana y segregación residencial: ¿qué aporta la CASEN 2006? *Revista de Geografía Norte Grande*, 2008, Nº 41, p.81-102.

RUSSELL, B. *La perspectiva científica*. Barcelona: Planeta, 1986.

SAKODA, J. M. The Checkerboard Model of Social Interaction. *Journal of Mathematical Sociology*, 1971, Vol. 1, Nº 1, p. 119-132.

SHELLING, T. C. Models of Segregation. *American Economic Review*, 1969, Vol. 2, Nº 59, p. 488-493.

SHELLING, T. C. Dynamic Models of Segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, 1971, Vol. 2, Nº 1, p. 143-186.

SHELLING, T. C. *Micromotives and macrobehavior*. New York: Norton, 1978.

SQUAZZONI, F. *Agent-Based Computational Sociology*, Singapore: Wiley, 2012.

WILENSKY, U. *NetLogo Segregation model*. Evanston, IL: Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern Institute on Complex Systems, Northwestern University, 1997.

WILENSKY, U. *NetLogo*. Evanston, IL: Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern Institute on Complex Systems, Northwestern University, 1999.

