

Modelos de simulación basados en agentes aplicados a las Ciencias Políticas

COLECCIÓN INVESTIGACIONES

MODELOS DE SIMULACIÓN
BASADOS EN AGENTES
APLICADOS A LAS CIENCIAS
POLÍTICAS

ANTONIO AGUILERA ONTIVEROS
NORMA L. ABRICA JACINTO



EL COLEGIO
DE SAN LUIS

Primera edición: 2019

Diseño de la portada: Natalia Rojas Nieto

Diseño de interiores y traducción ePub: Ernesto López Ruiz

© Antonio Aguilera Ontiveros, Norma L. Abrica Jacinto.

D.R. © El Colegio de San Luis
Parque de Macul 155
Fracc. Colinas del Parque,
San Luis Potosí, S.L.P. 78294
<https://libreria.colsan.edu.mx/>

ISBN COLSAN: 978-607-8500-38-6

Hecho en México

ÍNDICE

Agradecimientos

Prefacio

Capítulo 1

Introducción a la modelación y simulación en ciencia política

- 1.1. Objeto de estudio en la ciencia política
- 1.2. Cambio de paradigma en la investigación social y política
- 1.3. Sistemas complejos: sociales y políticos
- 1.4. Dos asuntos para modelar y simular
 - 1.4.1. Desobediencia civil y rebeliones urbanas
 - 1.4.2. Opinión pública

Capítulo 2

Modelado basado en agentes

- 2.1. ¿Qué es la modelación basada en agentes?
- 2.2. Protocolo ODD
- 2.3. *Software* para el modelado basado en agentes
 - 2.3.1. Modelo de Schelling en NetLogo
 - 2.3.2. Modelo de Schelling en MatLab

Capítulo 3

Modelo de desobediencia civil de Epstein

- 3.1. Modelando la desobediencia civil

- 3.2. Definición y propiedades del modelo de Epstein
- 3.3. Protocolo ODD del modelo de desobediencia civil
 - 3.3.1. Visión general
 - 3.3.2. Conceptos del diseño (*design concepts*)
 - 3.3.3. Detalles (*details*)
- 3.4. Resultados de las simulaciones
 - 3.4.1. Legitimidad del gobierno $L = 1$
 - 3.4.2. Legitimidad del gobierno $L = 0.5$
 - 3.4.3. Legitimidad del gobierno $L = 0.1$
 - 3.4.4. Legitimidad del gobierno $L = 0$
 - 3.4.5. Cambios en la legitimidad del gobierno
- 3.5. Interpretación sociopolítica del modelo

Capítulo 4

Modelo de formación de opinión pública

- 4.1. Modelando la opinión pública
- 4.2. Definición y propiedades del modelo de opinión pública
- 4.3. Protocolo ODD del modelo de opinión
 - 4.3.1. Visión general
 - 4.3.2. Detalles (*details*)
- 4.4. Resultados de las simulaciones
 - 4.4.1. Sociedad de incertidumbre media inicial $U = 0.2$
 - 4.4.2. Sociedad de incertidumbre media inicial $U = 0.5$
- 4.5. Interpretación sociopolítica del modelo

Apéndice

Bibliografía

AGRADECIMIENTOS

Todo trabajo de investigación es producto de una serie de acontecimientos y voluntades. Este texto no es la excepción. La colaboración y el compromiso de los autores en los temas presentados hacen que éste sea una primera aportación al trabajo reflexivo y crítico sobre la modelación de fenómenos sociopolíticos. Un acontecimiento que contribuyó de forma extraordinaria a la elaboración de este texto fue la estancia posdoctoral de la Dra. Norma L. Abrica Jacinto en El Colegio de San Luis, A.C. Dicha estancia no habría sido posible sin el apoyo económico e institucional del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), que otorgó una beca de estancia posdoctoral mediante la solicitud 2018-000005-01NACV-01077. Asimismo, agradecemos al Dr. Julio César Contreras Manrique, quien apoyó desde la coordinación del Programa de Estudios Políticos e Internacionales de El Colegio de San Luis, A.C., durante el proceso de la estancia posdoctoral. Finalmente, agradecemos la revisión minuciosa de los dictaminadores anónimos, quienes con sus pertinentes comentarios nos ayudaron a perfeccionar el texto.

PREFACIO

El presente trabajo introduce al lector en el tema de la simulación basada en agentes, exponiendo claramente el objetivo, el enfoque y el alcance de esta metodología de investigación aplicada al estudio de fenómenos sociopolíticos. El trabajo presenta una perspectiva sintética, unificadora y formativa, toda vez que congrega los diferentes conocimientos que se requieren para desarrollar modelos basados en agentes en el campo de los fenómenos sociopolíticos. Los ejemplos que se exponen son de los más paradigmáticos en la sociología matemática y computacional. Además, el texto cubre una necesidad importante en las ciencias sociales en general, y de manera significativa en la literatura original en español sobre los temas. Si bien el modelado basado en agentes no es una herramienta nueva, las disciplinas sociales han sido lentas en adoptar esta herramienta, en parte por la supuesta dificultad que presenta tanto el contenido matemático como de herramientas de simulación necesarias para su aplicación.

Creemos que el texto tiene un enorme valor formativo como obra introductoria al tema de simulación basada en agentes, en el campo de las ciencias políticas. Además, describe en suficiente detalle tanto los paradigmas generales de modelación como algunos modelos representativos, todo en un lenguaje asequible al científico social. Asimismo, la discusión y aplicación del protocolo ODD para describir modelos permitirá al lector entender la lógica del modelo, el manejo del lenguaje matemático y computacional, y la estructura de pensamiento utilizada en la investigación social basada en la modelación y simulación con

sociedades artificiales. De igual modo, las referencias son las adecuadas y suficientes para colocar al lector en una posición propicia para la revisión autodidacta de la literatura científica que sustenta este trabajo.

Esperamos que el lector encuentre este libro de utilidad para su trabajo de investigación, como una estrategia metodológica para abordar la complejidad social.

Antonio Aguilera Ontiveros
Norma L. Abrica Jacinto

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN A LA MODELACIÓN Y SIMULACIÓN EN CIENCIA POLÍTICA

1.1. OBJETO DE ESTUDIO EN LA CIENCIA POLÍTICA

El interés por la política surge por la inquietud de saber cómo funcionan el mundo y las relaciones de poder, de analizar e investigar sobre las necesidades o problemáticas de un sector social y cómo ayudarlo por medio de acciones o políticas públicas. Cada aspecto de la sociedad se relaciona con lo político, desde el nombre de una calle para cierta región hasta la influencia que pueden tener ciertos grupos minoritarios en una decisión global.

La ciencia política estudia la práctica de la política, así como los sistemas y comportamientos políticos en la sociedad. En estos sistemas y comportamientos se encuentran las distintas relaciones de poder entre los diferentes tipos de autoridad y diferentes agentes sociales (individuos, instituciones, organizaciones, etc.). Por medio de la observación de hechos de la realidad política, la ciencia política busca explicar cómo funciona el sistema político de las sociedades específicas de un país. Se relaciona con otras disciplinas de las ciencias sociales como el derecho, la economía o la sociología.

El objeto de estudio de la ciencia política es la política en sí: se ocupa de las relaciones de poder establecidas entre el Estado y la sociedad, de las relaciones de obediencia y dominación que surgen dentro de una organización política, le interesa la autoridad, los tipos de poder, las clases sociales y políticas, los mecanismos de dominación y

convencimiento, la legitimación del poder, etc. De acuerdo con Strasser (1972), las principales áreas de investigación de la ciencia política son

- el poder político y sus medios de obtención;
- la autoridad y la legitimidad del poder;
- el origen y funcionamiento del Estado;
- la administración pública;
- el comportamiento político de las sociedades;
- la comunicación política y la opinión pública; y
- las relaciones internacionales.

La metodología de investigación en ciencia política proviene principalmente de las ciencias sociales, siendo los más utilizados los siguientes métodos (Ferrando-Badía, 1973):

- *Método empírico*: el cual se basa en la observación, la experimentación y la lógica empírica.
- *Método estadístico*: utilización matemática de datos cuantitativos sobre un gran número de casos.
- *Método comparado*: que usa para probar la validez de proposiciones empíricas generales, es decir, establece relaciones empíricas entre dos o más variables mientras todas las otras variables se mantienen constantes.
- *Método histórico*: conjunto de técnicas y procedimientos para manejar las fuentes primarias y otras evidencias para investigar sucesos pasados relevantes para las sociedades humanas.
- *Análisis o estudio de caso*: técnica de investigación cualitativa que estudia algún fenómeno de manera exhaustiva (observación, elaboración de preguntas, localización de fuentes y recopilación de datos, análisis e interpretación de la información y los resultados, elaboración de un informe).

En este trabajo se propone la modelación y la simulación como un método más para el estudio de los fenómenos políticos. Se modelan dos temas de interés: la autoridad y la opinión pública. En el caso de la autoridad, se estudiará la forma en que ésta se aplica ante una revuelta o

desobediencia civil; para la opinión pública, se presenta la manera cómo se forman diversos grupos de opinión. En la sección 1.4 se definirán estos temas y la manera como se modelarán y simularán.

1.2. CAMBIO DE PARADIGMA EN LA INVESTIGACIÓN SOCIAL Y POLÍTICA

Estamos ante una era de cambio de paradigma en el estudio de los hechos sociales, políticos y económicos. El enfoque de la complejidad ha dejado de estar asociado sólo al estudio de los fenómenos naturales, para pasar al estudio de los fenómenos asociados a la interacción humana y sus consecuencias tanto hacia su entorno como hacia el interior de los seres humanos.

Percatados por científicos sociales como Byrne (1998), quien desde finales del siglo XX proponía el enfoque de sistemas complejos para abordar el estudio de lo social, científicos políticos como Mahoney y Goertz (2006), Teisman y Klijn (2008) y Cairney (2012) han reconocido la necesidad de volver la mirada hacia el enfoque de sistemas complejos y abordar con su lenguaje, conceptos y metodología las diferentes facetas de la investigación en las ciencias políticas.

Para iniciar con el paradigma de la complejidad, es necesario revisar el *enfoque sistémico* de los asuntos políticos. La hipótesis de la teoría general de sistemas (Bertalanffy, 1976) es que cada sector de la realidad puede ser estudiado como si funcionara en una especie de “sistema”, y que los sistemas, cualesquiera que sean, pueden compartir ciertas estructuras y procesos fundamentales y, por tanto, estudiarse mediante un cuerpo único de conceptos básicos de orientación. Dicho enfoque de sistemas se comenzó a trabajar en las ciencias políticas con los trabajos fundacionales de Easton (1953), seguidos ya tardíamente por los de Adams (1983) y Deutsch (1985). Para estos científicos sociales, el enfoque de sistemas resultó atractivo en el sentido de proponer instrumentos analíticos para dar cuenta de lo complejo de la realidad social, en la medida en que obliga a considerar la articulación e intercambio entre los tres principales subsistemas mediante los cuales se capta la condición global del objeto sistémico que es la sociedad. Así, la sociedad

es vista como un conjunto de subsistemas que conformarán al sistema (subsistemas político, económico y cultural), la interacción entre ellos, así como los niveles de intercambio de éste: intrasocietal y extrasocietal (Montesinos, 1999).

A partir de los años 90 se ha incrementado el uso de métodos computacionales en el estudio de las ciencias sociales para sus diversas disciplinas, como la antropología, la economía, la sociología y la ciencia política (Rodríguez-Zoya y Roggero, 2014). La *modelación y simulación* implica para el científico social una nueva forma de investigar; ya no sólo está la manera discursiva de analizar, sino también una nueva metodología en la que el uso de modelos matemáticos y la herramienta de cómputo se unen para dar un análisis complementario al acostumbrado. La modelación no pretende matematizar los aspectos sociales, sino sólo dar una perspectiva y análisis complementario a los hechos conocidos o nuevos (posiblemente) por acontecer mediante escenarios virtuales.

Modelar y simular ofrece al científico social una estrategia para abordar la complejidad social, da la oportunidad para un trabajo interdisciplinario formado por los conocimientos de diversas áreas y disciplinas tanto de las ciencias sociales como de las ciencias exactas y computacionales.

Para Marvin Minsky (1965: 1), la definición de modelo es la siguiente: “Para un observador B, un objeto A* es un modelo de un objeto A en la medida en que B puede usar A* para responder preguntas que le interesan sobre A”. Es decir, el observador puede preguntar y aprender del objeto en y mediante el modelo construido. Este modelo toma la forma de una herramienta de saber por medio de la cual el observador construye conocimiento del objeto modelado. Podemos decir entonces que un modelo es una representación racional de lo observado en la realidad. Existen modelos no formales y formales.

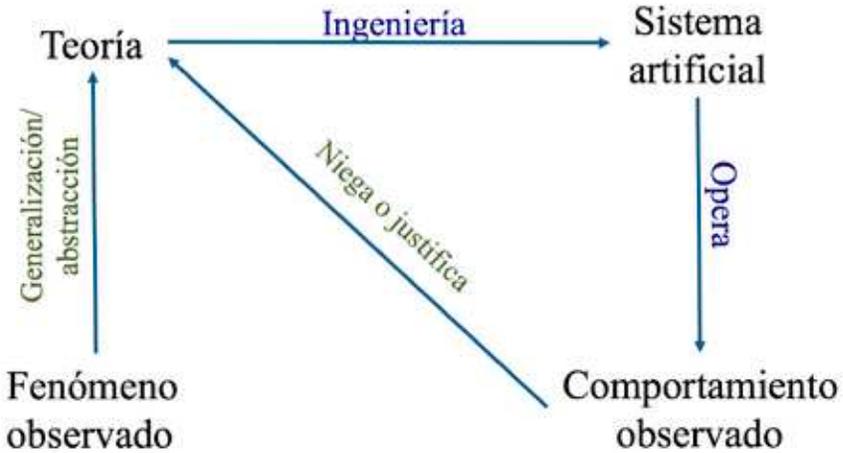
Los *modelos no formales* son modelos expresados en un lenguaje natural, son conocidos también como *modelos discursivos*. Tales modelos son los más usados en las ciencias sociales ya que éstos poseen mayor expresividad y riqueza descriptiva.

Los *modelos formales* son aquéllos expresados en un lenguaje artificial (no natural); usan el lenguaje formal de la lógica simbólica o

la matemática; por ejemplo, los lenguajes de computación. Dentro de los modelos formales, se encuentran los modelos matemáticos, modelos estadísticos y modelos computacionales. Los *modelos matemáticos* son poco usados en las ciencias sociales ya que no resultan tan fácil traducir las teorías sociales a simples ecuaciones diferenciales o en ecuaciones de diferencia. Los *modelos estadísticos* son los más usados dentro de la investigación social ya que forman parte de la metodología cuantitativa. Los *modelos computacionales* son una novedosa herramienta para la investigación social ya que éstos permiten, por medio de ecuaciones “simples” y el uso del lenguaje de programación, representar una parte característica de fenómenos sociales y experimentar dentro de escenarios virtuales, es decir, simular diversos escenarios sociales.

El propósito de *simular* en ciencias sociales es representar un proceso social que se desarrolla en el transcurso del tiempo. Tal proceso social consta de la interacción social entre agentes heterogéneos y de la dinámica temporal del comportamiento de éstos. Para abstraer un sistema social real y poder analizarlo en el laboratorio, se utiliza una representación teórica comúnmente llamada *sociedad artificial*, la cual es una *representación sintética* de una sociedad. Esta representación sintética es un sistema artificial construido para conocer más acerca de un fenómeno concreto. Tal sistema tiene el objetivo de ayudar a explicar el fenómeno si es capaz de reproducir lo que se ha observado (Steels, 1995). La estructura lógica de este método sintético se representa en el diagrama de la Figura 1.1.

FIGURA 1.1



En este método, el proceso de ingeniería es vital para la construcción del sistema artificial. Existen diferentes y muy diversas propuestas para realizar este proceso. En el caso del estudio de los sistemas sociales complejos, este proceso de ingeniería se realiza con modelos computacionales basados en sistemas multiagentes o modelos basados en agentes (Laguna-Sánchez *et al.*, 2016; Sansores-Pérez y Pavón, 2005; Davidsson, 2000; Wooldridge, 2002).

Con este método sintético y la idea de sistemas artificiales, ¿es posible modelar fenómenos sociales? Sí, agentes sociales y sus interacciones pueden ser representados tanto matemática como computacionalmente y crear así modelos de simulación. Esta modelación dependerá también del nivel de descripción que el científico pueda representar, pues existen modelos simples “lineales” y modelos más “complejos”, los cuales abarcan una gran cantidad de características del fenómeno que modelar. En general, estos modelos dan al científico social “la posibilidad de estudiar de manera sistemática y explícita la dinámica temporal de los procesos sociales, y de analizar de manera integrada la continuidad y el cambio de los patrones de comportamiento social” (Rodríguez-Zoya y Roggero, 2014).

Además, la simulación social invita a plantearse el modelado de entidades e interacciones a nivel microsocial para generar procesos y

estructuras macrosociales, y a la vez observar las consecuencias de tales estructuras sobre la acción social individual. Ésta es precisamente una característica importante de lo que se conoce como sistemas complejos. A continuación, se define un sistema complejo y se expone por qué los sistemas sociales y políticos caen dentro de esta categoría.

1.3. SISTEMAS COMPLEJOS: SOCIALES Y POLÍTICOS

Un *sistema* es una colección de elementos que interactúan formando un todo. Este término es polisémico y se utiliza en los más diversos ámbitos y en palabras compuestas. En una primera definición, se utiliza para designar a un conjunto de normas o principios sobre una cuestión determinada y que, en suma, se entrelazan entre sí, forman cohesión y toman sentido; por ejemplo, un sistema político. También puede ser un conjunto de cosas o de componentes físicos que en forma independiente no consiguen nada, pero que en conjunto, y funcionando con otros elementos del sistema, configuran un orden y una secuencia; por ejemplo, una computadora. Por tanto, se puede decir que un sistema es un conjunto de elementos o partes que interaccionan entre sí, y dan lugar a comportamientos emergentes.

Como menciona Moriello (2006a, 2006b): “El concepto de sistema es una abstracción que simplifica la realidad y que remite a un conjunto de elementos o partes que interaccionan dinámicamente entre sí (y con el entorno que lo rodea), que tiene una cierta permanencia dentro del espacio-tiempo y que intenta alcanzar un objetivo concreto. Para describir adecuadamente su comportamiento, es necesario conocer su organización: la disposición de sus elementos componentes y las interacciones o relaciones que se establecen entre ellos”.

Por otro lado, etimológicamente, la palabra *complejidad* es de origen latino, proviene de *complectere*, cuya raíz *plectere* (‘plexus’) significa ‘trenzar, enlazar’. El agregado del prefijo *com-* añade el sentido de la dualidad de dos elementos opuestos que se enlazan íntimamente, pero sin anular su dualidad. Decir que algo es complejo significa que es difícil de separar ya que hay interacciones que limitan el estudio del todo

a partir de las partes. Más aún, las interacciones generan información nueva que limita la predicción de los fenómenos complejos.

Así, un *sistema complejo* es aquel en el cual sus elementos interactúan de tal manera que el comportamiento de cada elemento depende del comportamiento de otros elementos (Gershenson, 2013, 2015; Hernández-Rodríguez, 2012; Laguna *et al.*, 2016; Pavón *et al.*, 2012). Es por estas interacciones que uno no puede predecir el comportamiento de los elementos al estudiarlos por separado. En un sistema complejo, las variables aisladas no tienen sentido; es por la importancia de las interacciones que no es posible reducir el comportamiento del sistema al comportamiento de las partes (Gershenson, 2013 y 2015). De acuerdo con Hernández-Rodríguez (2012) e Izquierdo *et al.* (2008), las principales características de los sistemas complejos se explican a continuación y están representadas en la Figura 1.2:

- Tienen una estructura compuesta por *varios niveles interconectados* entre ellos que poseen información adicional.
- Los componentes básicos de estos sistemas perciben su entorno y responden a cambios en él de forma potencialmente diferente, es decir, los componentes básicos de un sistema complejo son *autónomos*, en mayor o menor grado, heterogéneos e independientes.
- Como resultado de las interacciones entre sus elementos, surgen propiedades nuevas que no pueden explicarse a partir de las propiedades de los elementos aislados. Tales propiedades se denominan *emergentes* ya que son propiedades globales del sistema que surgen de las interacciones entre sus elementos.
- El comportamiento del sistema nace a partir de la *autorganización* de sus componentes, sin que esta organización esté controlada o dirigida por algún ente exterior al sistema. Es decir, tienden hacia la autorganización y a la formación de patrones.
- Los sistemas complejos son *adaptativos*: el comportamiento de los componentes básicos del sistema puede evolucionar en el tiempo y dar lugar a una cierta capacidad de respuesta frente a cambios en el entorno. Los agentes de un sistema complejo

pueden “aprender” de forma diferenciada y generan asimetrías del sistema.

- Los sistemas complejos con frecuencia exhiben *histéresis* (*memoria*), es decir, son sistemas que no dependen sólo de las circunstancias actuales (estado actual), sino también de cómo se ha llegado a esas circunstancias (estados previos).
- Los sistemas complejos son *dinámicos y no-lineales*, por tanto, poseen un comportamiento que suele tener una fuerte dependencia de las condiciones iniciales del sistema, lo que los hace difícilmente predecibles. Ésta es la propiedad de no-linealidad de los sistemas complejos.
- Aunque se conozca de manera precisa el comportamiento de las partes constituyentes de los sistemas complejos (*determinista*), no es posible anticipar con certeza su evolución futura (*no-determinista* o aleatorio). De esta forma, los sistemas complejos se encuentran entre el determinismo y la aleatoriedad.

FIGURA 1.2



Un ejemplo típico de sistema complejo es el cuerpo humano. Tal sistema está formado por diversos subsistemas que describen su funcionamiento completo: sistema cardiovascular, sistema respiratorio, sistema digestivo, sistema endocrino... Cada uno de estos subsistemas está bien estructurado y hace que el sistema completo “el cuerpo humano” se mantenga en funcionamiento normal. Cuando algo sale mal en este sistema, lo más probable es que afecte a otro o varios subsistemas a la vez, lo cual da las relaciones intrínsecas “ocultas” en cada uno de ellos.

Otro ejemplo de sistema complejo es un sistema político: este sistema es formado por agentes, instituciones, organizaciones, comportamientos, creencias, normas, actitudes, ideales, valores y todas las interacciones propias entre y dentro de cada uno de estos agentes. Como mencionaba el politólogo David Easton (1953): “Un sistema político es

un conjunto de interacciones políticas. Lo que distingue las interacciones políticas del resto de interacciones sociales es que se orientan hacia la asignación autoritaria de valores a una sociedad”. Este tipo de interacciones políticas, basadas en las *asignaciones autoritarias*, distribuyen los valores entre individuos o grupos por medio de

- una asignación que puede privar a una persona de un valor que ya posee;
- una asignación que puede obstaculizar la obtención de valores que de otra manera serían obtenidos; o
- una asignación que dé algún acceso a valores a ciertas personas y se los niegue a otras.

Existen una gran variedad de definiciones de sistema político, un ejemplo más es la definición dada por el politólogo Maurice Duverger (1962: 33): “Un sistema político es el conjunto del sistema social estudiado en sus aspectos políticos”. Él parte de distinguir los conceptos de institución política, régimen político y sistema político. Para él, el sistema político es el lugar donde interactúan los agentes políticos; las instituciones políticas son las partes integrantes de un subsistema político denominado régimen político. Entonces, el sistema político, además de analizar las instituciones políticas, estudia las relaciones entre ese régimen político y los demás elementos sociales presentes, como el económico, el técnico, el cultural, el ideológico o el histórico, entre otros.

Y podemos seguir exponiendo más definiciones, y cada una de ellas tendrán, de manera implícita o explícita, diversos subsistemas y las interacciones entre ellos. Todo esto hace que el sistema político sea en sí un sistema complejo.

Una de las propiedades más importantes de los sistemas complejos son las *propiedades emergentes*; éstas, según Jeffrey Goldstein (1999), se definen como la “aparición de estructuras, patrones, propiedades nuevas y coherentes durante el proceso de autorganización en sistemas complejos”. Tales propiedades no son intrínsecas de los elementos del sistema, sino una propiedad del sistema como un todo; además, estas propiedades emergentes pueden ser distintas aunque se sigan las mismas reglas de evolución. La *emergencia* de los sistemas complejos se refiere

entonces a la aparición de leyes, patrones u orden, mediante los efectos cooperativos de los elementos del sistema (Hernández-Rodríguez, 2012; Izquierdo *et al.*, 2008; Cilliers, 1998). El lema del emergentismo considera que “el todo es más que la suma de sus partes”. Por ejemplo, en un salón de clases los elementos son los alumnos, maestros, mobiliario, pizarrón, etc.; las acciones que surgen entre éstos y que no son una propiedad individual son la amistad, el ruido, el aprendizaje, el consenso, la polarización, la formación de grupos de amigos. Otro ejemplo de tipo emergente es el efecto de segregación social, ya que los grupos de individuos tienden a formar estructuras organizadas como por ejemplo localización, cultura, estilo de vida, clase social, etc., las cuales no estaban presentes al inicio del sistema.

En algunas ocasiones se dice que las propiedades de un sistema son emergentes cuando son impredecibles; en otras, cuando son irreducibles; y, aún más, en otros casos, cuando son originales, es decir, que no las posee ningún componente del sistema (Cilliers, 1998). En general, el fenómeno es emergente si requiere nuevas categorías para describirlo, las cuales no son requeridas para describir el comportamiento de los componentes subyacentes (Gilbert, 2002). Estas propiedades no pueden ser determinadas por métodos ni medios analíticos, sino más bien utilizando la simulación (Byrne, 1998).

Otra de las características de los sistemas complejos es la *autororganización*, que representa la espontánea emergencia del orden en sistemas físicos y naturales (Kauffman, 1993). Es un proceso en el que alguna forma global de orden o coordinación surge de las interacciones locales entre los componentes de un sistema inicialmente desordenado. Este proceso es espontáneo: no está dirigido ni controlado por ningún agente o subsistema dentro o fuera del sistema; sin embargo, las leyes seguidas por el proceso y sus condiciones iniciales pueden escogerse o ser causadas por un agente.

En contextos sociales, la autororganización es un proceso continuo que ocurre mediante “actos de comunicación”; dichos actos son generalmente formas de comunicación verbal, escrita o electrónica, simbólica o no verbal transmitida directamente entre dos o más individuos dentro del sistema o entre el sistema y su medio. Estos actos comunicativos

(directos o indirectos) son los “bloques de construcción” en el proceso de autorganización (Feldman y March, 1981; Luhmann, 1989).

Los sistemas sociales están constituidos por un colectivo de individuos o *agentes sociales* que interactúan mutuamente entre sí o por medio de su entorno social de forma dinámica. Los agentes sociales son *autónomos*, pues son capaces de cambiar su comportamiento tomando como datos la interacción con el medio que les rodea y de la memoria de hechos pasados (Hernández-Rodríguez, 2012; Nemiche *et al.*, 2013; Sansores-Pérez, 2007).

Estos agentes sociales se encuentran inmersos en una *red de conexiones* entre ellos que permiten el flujo de normas, valores, ideas, creencias, comportamientos, etc., que sirven de sustrato para la aparición de fenómenos emergentes, autorregulados, de difusión colectiva y coevolución, como son la propagación de rumores, epidemias, la formación de grupos de opiniones, la formación de culturas, aparición y evolución de lenguaje, por mencionar algunos.

Los agentes sociales están obligados a *tomar decisiones* continuamente a partir de las interacciones entre ellos y el medio que los rodea; y a su vez, estas decisiones pueden cambiar el medio o la forma en que continuarán interaccionando entre sí. El resultado de las interacciones en estos sistemas es altamente no lineal debido a los bucles de causalidad y retroalimentación presentes y, por tanto, el sistema es imposible de ser reducido al estudio de cada agente por separado. Así es como surge la complejidad en estos sistemas sociales. Por tanto, podemos decir que estos sistemas son complejos (Hernández-Rodríguez, 2012; Nemiche *et al.*, 2013; Izquierdo *et al.*, 2008), pues sus elementos, agentes sociales, tienen las siguientes características:

- Son autónomos.
- Interactúan en numerosas formas diferentes.
- Se comunican mediante un lenguaje simbólico.
- Toman diferentes roles, incluso al mismo tiempo.
- Son capaces de reconocer sus interacciones y roles.
- Guardan una “memoria” de sus interacciones pasadas, y esta memoria es utilizada para reaccionar en situaciones futuras parecidas.

Además, los fenómenos sociales son cambiantes; no están sujetos a leyes sino a tendencias, las cuales pueden afectar a los individuos probabilísticamente. La indeterminación de los procesos en los sistemas sociales es mucho mayor que en los sistemas físicos, e incluso los biológicos (Sansores-Pérez y Pavón, 2005). Así es como se observa que en los sistemas sociales compuestos por agentes sociales el comportamiento global *no* es reducible a la suma de las partes del sistema o al comportamiento típico o promedio de un agente del sistema. Por ejemplo, el comportamiento global de una sociedad no es reducible a la psicología individual de sus agentes sociales, cuyas características individuales detalladas pueden llegar a ser irrelevantes para el comportamiento colectivo.

1.4. DOS ASUNTOS PARA MODELAR Y SIMULAR

Dos de las principales áreas de investigación en ciencia política son la autoridad y la opinión pública. La autoridad será estudiada desde un enfoque de desobediencia civil, mientras que la opinión pública, desde un enfoque de evolución y formación de grupos (de opinión). Para ello, iniciaremos presentando cada uno de los conceptos y sus características principales.

1.4.1. Desobediencia civil y rebeliones urbanas

En 1846 Henry David Thoreau se negó a pagar sus impuestos al gobierno de Estados Unidos en oposición a la esclavitud y a la guerra contra México. Ésta es la primera referencia que se tiene de una desobediencia civil (Marcone, 2009). En 1849, Thoreau publicó un conjunto de escritos sobre sus acciones contra la guerra llamado *Resistencia al gobierno civil*, donde expone uno de los conceptos principales de su ideología: la idea de que el gobierno no debe tener más poder que el que los ciudadanos estén dispuestos a concederle; y, de ser necesario, propone la abolición de todo gobierno. Como menciona Marcone (2009), Thoreau sentó las bases de lo que hoy conocemos como desobediencia civil:

“La justificación del rechazo público, consciente, colectivo y pacífico a acatar las leyes o políticas gubernamentales consideradas injustas o inmorales”.

En términos simples, la desobediencia civil es una forma de desacuerdo político. Se define como el acto de no cumplir una *norma* o *ley* de la que se tiene la obligación de cumplirse. La desobediencia puede ser activa o pasiva. En cierto momento, a los desobedientes se les nombró como rebeldes, resistentes o revolucionarios. Actualmente, el término de desobediencia civil se refiere a los diversos actos o movimientos de protesta sociopolítica y de desobediencia a la ley que son realizados por convicción o por reclamos de justicia. En este sentido, la desobediencia civil se caracteriza por aquellas acciones o procesos de oposición pública ante una ley política vigente por un gobierno establecido; es una forma de expresión de la responsabilidad personal por la falta de justicia. En general, podemos decir que el acto de desobediencia civil se caracteriza por los siguiente:

- Es una acción deliberada e intencional.
- Se actúa por motivos morales.
- Es pública y abierta.
- Los desobedientes son conscientes de sus actos y está dispuestos a asumir las consecuencias de ello.
- Es pacífica y no violenta.

Respecto a ser pública y abierta, los actos de desobediencia civil buscan una mirada de atención de la *opinión pública* respecto al hecho de que alguna ley o política, dada por el régimen presente, esté infringiendo algún principio de índole moral. El objetivo de la desobediencia civil es cambiar el orden social o político desde una concepción de la justicia o del bien común.

Marcone (2009: 42) menciona que la definición de desobediencia civil fue elaborada por Bedau en 1961 y retomada por Rawls en 1971 y por Habermas en 1985. Para ellos, “la desobediencia civil puede definirse como una acción de protesta colectiva, moralmente fundamentada, pública, ilegal, consciente y pacífica que, violando normas jurídicas concretas, busca producir un cambio parcial en las leyes, en

las políticas o en las directrices de un gobierno” (Marcone, 2009: 42). Bobbio *et al.* (1991) sostienen que la desobediencia civil aparece cuando los ciudadanos perciben, juzgan y creen que la ley es injusta, ilegítima e inconstitucional. La desobediencia civil no sólo es un acto de protesta moralmente justificable, sino que es incluso necesaria como mecanismo de participación democrática, tal como cita Marcone (2009: 52): “Toda sociedad que se pretenda democrática y por ende garante del ‘derecho a tener derechos’ tiene que ser tolerante con la desobediencia civil”.

La desobediencia civil es un recurso utilizado por diversos movimientos sociales, por ejemplo, los pacifistas y los partidarios del sufragio femenino. Dos ejemplos del siglo XX importantes que mencionar son los movimientos sociales encabezados por Mahatma Gandhi en India y Martin Luther King en Estados Unidos. El primero tenía el objetivo de independizar la India del gobierno británico, el segundo versa sobre la defensa de los derechos civiles en Estados Unidos. Otro personaje importante es Desmond Tutu en Sudáfrica, cuya lucha era en contra del *apartheid*, un sistema de segregación racial dado en Sudáfrica hasta 1992.

En México, la desobediencia civil se ha presentado en movimientos de protesta a lo largo del siglo XX y lo que va del XXI. Dichos movimientos civiles fueron duramente reprimidos por el régimen del Partido Revolucionario Institucional en 1968, que devino en la infame matanza de Tlatelolco. Otras manifestaciones más actuales de protesta pública y desobediencia civil han sido las llevadas a cabo por el sector magisterial. El movimiento se generó con el objetivo de echar abajo una decisión tomada por la Secretaría de Educación Pública de aplicar la llamada prueba Enlace, con la que pretendía evaluar, supuestamente en términos académicos, a todos los maestros, pero que en el fondo se trataba en realidad de una evaluación de tipo laboral. La prueba Enlace fue juzgada por los docentes como impropia, parcial y plagada de errores de generalización; finalmente, gracias a su movilización, la prueba terminó siendo desechada por la propia autoridad, no sin antes reconocer sus graves defectos de origen (Quiroz-Palacios, 2017).

Otros casos de desobediencia civil pacífica en México son la convocatoria realizada en 1988 tanto por Cuauhtémoc Cárdenas como por Manuel Clouthier en contra de lo que calificaron como fraude electoral

de aquel año. Sobresale también el de 2006, en el que, inmediatamente después de los comicios presidenciales, se exigió contar “voto por voto y casilla por casilla”, con un consecuente plantón en la avenida Reforma de la Ciudad de México, dirigido por el excandidato y ahora presidente Andrés Manuel López Obrador. En ese mismo año, figura también la lucha pacífica de resistencia que llevaron a cabo los profesores y el pueblo de Oaxaca mediante su organización Asamblea Popular de los Pueblos de Oaxaca (APPO). Finalmente, cabe destacar las movilizaciones pacíficas de los obreros del Sindicato Mexicano de Electricistas (SME) y de los trabajadores de Mexicana de Aviación, cuyas empresas fueron arbitrariamente declaradas extintas por el poder ejecutivo federal (Quiroz-Palacios, 2017).

La rebelión se considera cuando existe violencia colectiva y se aparta el comportamiento individual de la resistencia pacífica para tornarse violento. La rebelión presenta un desafío abierto al sistema de propiedad y dominación. La rebelión se da frecuentemente entre las clases bajas y el campesinado. Scott (1997: 31) menciona que “la resistencia de las clases bajas en el ámbito del campesinado es cualquier acto realizado por algún miembro de esta clase cuya intención sea mitigar o negarse a peticiones (ej. rentas, impuestos, deferencia) impuestas por clases superiores (ej. terratenientes, el Estado, propietarios de la maquinaria, prestamistas) o avanzar en sus propias peticiones (ej. trabajo, tierras, caridad, respeto) frente a estas clases superiores”.

En términos de política, sólo la insurrección representa una acción política y es la única resistencia genuina ya que desafía directamente el poder del régimen. Desde ese punto de vista, las actividades denominadas de “resistencia cotidiana”, es decir, robar, mentir, fingir, rehuir el trabajo, asesinar, cometer infanticidio, cometer suicidio, incendiar podrían calificarse como prepolíticas en el mejor de los casos y como apolíticas en el peor (Scott, 1997).

En el mundo han existido rebeliones desde hace mucho, pero las que nos van a interesar son las rebeliones urbanas contemporáneas. Ejemplos de estas rebeliones del siglo XX son la famosa rebelión de Detroit de 1967 (Warren, 1969) y la rebelión de Los Ángeles de 1965. Otros ejemplos de rebeliones urbanas, ya en el siglo XXI, son las ocurridas en Inglaterra en 2011 (Frost y Phillips, 2013). Las rebeliones

urbanas a menudo ocurren en respuesta a un malestar percibido o por disidencia. Las rebeliones urbanas pueden ser el resultado de un evento deportivo, aunque muchas rebeliones urbanas se han producido debido a las malas condiciones de trabajo o de vida, la opresión del gobierno o los conflictos entre razas o religiones. En el capítulo 3 se presentará un modelo de rebelión caracterizado por considerar la opinión manifiesta de los agentes respecto a la legitimidad del gobierno y por el desplazamiento de estos agentes en el espacio urbano.

1.4.2. *Opinión pública*

Público, como sustantivo, significa gente; define la totalidad de los miembros de una comunidad, nación o sociedad. El público es diferente a la muchedumbre, ya que en ésta los miembros se hallan juntos, con contactos cara a cara, mientras que en lo público los miembros se encuentran dispersos en el espacio, reaccionan ante un estímulo común dado por medios de comunicación indirectos y mecánicos; en un sentido estricto, constituyen un *grupo psicológico* (Young, 1995). Para Giovanni Sartori (1988), lo público “es, ante todo y sobre todo, un concepto político”, un término que debe emplearse como un sustantivo colectivo para denotar o clasificar a un grupo de agentes interesados en problemas políticos. Es decir, limitar el concepto de lo público sólo a cuestiones de política. Pero esto sería ignorar que existen otros temas de interés en una sociedad fuera del ámbito político.

Público, como adjetivo, se refiere a hechos o actividades humanas que concentran el interés general de la comunidad: asuntos públicos de una reunión pública, o de la vida pública de algún hombre (Young, 1995). Es visto también como una asociación de vínculos ligeros entre personas que poseen opiniones acerca de algún tema general, atraídas *temporalmente* por algún acontecimiento pasajero.

Por otro lado, una *opinión* es más que una mera noción (idea general de algo, conocimiento elemental) o impresión, es una creencia bastante fuerte o intensa, pero no tanto como un conocimiento positivo basado en pruebas completas o adecuadas. Las opiniones son *creencias* acerca de temas de interés o aquellos relacionados con la interpretación

valorativa o el significado moral de ciertos hechos. Una opinión no es algo tan cierto como una convicción o una actitud. Una *convicción* es la seguridad que tiene una persona de la verdad o certeza de lo que piensa o siente; se relaciona con el sentimiento. El *sentimiento* es una creencia emocional y relativamente moderada y fija, sustenta las costumbres y la ley; se relaciona con objetos o situaciones que *no* están sujetos a la discusión. Y es aquí donde se diferencia de la opinión, ya que la opinión implica divergencia (diversidad de opiniones, desacuerdo). Una *actitud* es una tendencia a actuar, es la forma en la que un individuo se adapta de forma activa a su entorno y es la consecuencia de un proceso cognitivo, afectivo y conductual; mientras que la opinión es de carácter verbal y simbólico. En general, la *opinión pública* está formada por actitudes verbalizadas, ideas y convicciones acerca de algún tema discutido.

La opinión pública puede ser vista como algo *estático*, es decir, sólo como un conjunto de creencias y puntos de vista de un público. También puede ser considerada como algo *dinámico*, es decir, como un proceso de formación de la opinión pública, siendo ahora sustancial el sentido interactivo de las opiniones entre los miembros de un público. Cooley (1918: 378) menciona: “La opinión pública [...] debe ser considerada como un proceso orgánico, y no meramente como un estado de acuerdo acerca de alguna cuestión actual”. Con esto, la opinión pública no implica necesariamente un estado de acuerdo completo; de ser así, estaríamos hablando de costumbres, concepto que hay que diferenciar de opinión pública: la opinión pública aparece cuando las costumbres y los sentimientos son puestos a discusión (Young *et al.*, 1995).

Considerando el enfoque dinámico de la opinión pública, se han definido diversos modelos para describir este proceso: el modelo en cascada propuesto por K. W. Deutsch (1974), el modelo *bubble-up* propuesto por Sartori (1992), los modelos de cinco fases propuestos por Foote y Hart (1953) y el modelo de Young (1956) de cuatro etapas, y otros más que son descritos considerando la influencia de los medios de comunicación y de masas. Por ejemplo, el modelo de Young (1956) describe el proceso de formación de opinión pública, en cinco etapas:

1. *Definición*: algún tema o problema comienza a ser definido por ciertos agentes de la sociedad como uno que exige solución.

2. *Discusión*: se inician las interacciones entre los miembros del grupo.
3. *Análisis*: surgen posibles soluciones o planes de acción. Es una etapa basada en la toma de decisiones, influenciada por valores racionales y emocionales.
4. *Consenso*: de las interacciones anteriores, los agentes alcanzan cierto grado de consenso.
5. *Decisión*: con el consenso, sigue la decisión o la puesta en práctica de la ley aprobada, o el empleo del poder por parte de los funcionarios elegidos.

En este modelo de Young, las interacciones entre los miembros del grupo son de diversos tipos, como charlas, debates abiertos o por cualquier medio de comunicación (que en esa época eran el periódico, la radio y la televisión). Además, el consenso que describe Young no implica un acuerdo completo entre todos los miembros, por ejemplo, en sociedades democráticas, el consenso se da mediante el voto mayoritario. También, Young menciona que la etapa de decisión, en sí, no es parte del proceso de formación de opinión pública, pero sí es a partir de este momento en que las minorías pueden iniciar de nuevo el proceso de formación de opinión, es decir, vuelven a buscar el medio de posicionar el tema para intentar ahora una mayoría a su perspectiva.

Dado que la opinión pública está formada por actitudes verbalizadas, ideas y convicciones, ésta es el resultado de factores tanto racionales como irracionales y, por tanto, no podemos dejar de lado los *factores psicológicos* que intervienen en el proceso de formación de la opinión pública. Entre los principales, se encuentran aquéllos relacionados con el aprendizaje, con el pensamiento y el desarrollo de los estereotipos, mitos y leyendas.

La relación psicosocial del concepto se basa en los sistemas de interacción, en la organización de la sociedad, las comunicaciones y los lenguajes presentes que enlazan a las personas, grupos y colectividades. Tratan de describir y comprender las distintas formas de reconstruir, representar y expresar las opiniones en la vida pública y privada de nuestra sociedad. En psicología social, la opinión pública es un estudio comprensivo de la comunicación que es el fundamento de la sociedad.

Este estudio se logra por medio de la *teoría de sistemas*, la cual sirve de fundamento básico para comprender y articular la función real de la opinión pública, la importancia y el papel de los *mass media*, los grupos, las instituciones y empresas de comunicación. Según Noëlle-Neumann (2010), “basándonos en el concepto de un proceso interactivo que genera una ‘espiral’ del silencio, definimos la opinión pública como aquella que puede ser expresada en público sin riesgo de sanciones, y en la cual puede fundarse la acción llevada adelante en público”.

Desde nuestra perspectiva, un concepto relacionado con la opinión pública es la ideología. En las ciencias sociales, difícilmente se encuentra una única definición de *ideología*, y más aún en términos matemáticos. Las definiciones de ideología difieren de fuente a fuente, y usualmente destacan sólo en los diferentes rasgos de una ideología. Originalmente, el término de ideología fue formulado por Destutt de Tracy (1796) para denominar a la ciencia que estudia las ideas, su carácter, origen y las leyes que las rigen, así como las relaciones con los signos que las expresan.

Althusser (1970) entiende la ideología como un sistema (de cognición social) impuesto que actúa por medio de los individuos, de tal manera que los individuos no configuran esa ideología. Citando otra definición de ideología dada por Stuart Hall (en Van Dijk, 1999): “Entiendo por ideología las estructuras mentales –los lenguajes, los conceptos, las categorías, las imágenes del pensamiento y los sistemas de representación– que diferentes clases y grupos sociales despliegan para encontrarle sentido a la forma en que la sociedad funciona, explicarla y hacerla inteligible”.

Van Dijk (1999) estudia la ideología con un enfoque multidisciplinario, discutiendo los conceptos fundamentales y dando un enfoque general de cómo las ideologías se expresan y se reproducen en el discurso. Su conceptualización de la ideología se resume en “un triángulo formado por los conceptos de cognición, sociedad y discurso”. En términos de cognición, se debe estudiar la organización y las funciones mentales de la ideología; luego, las condiciones y funciones de éstas en los ámbitos sociales, políticos, culturales e históricos; y finalmente, las ideologías se forman, cambian y se reproducen, básicamente, por medio del discurso y la comunicación social.

Como bien observa Van Dijk (1999), “las ideologías resuelven el problema fundamental de la *coordinación* social e interaccional, es decir, a pesar de la variación personal y contextual, los actores sociales individuales generalmente pueden actuar como miembros de grupo, y a menudo en beneficio del grupo como un todo”. Cuando una ideología es aceptada por una parte de la sociedad, cambia la forma en que la gente piensa, actúa y opina; luego, se mantiene y dura cierto tiempo, de tal manera que sirve de marco sociopsicológico para el comportamiento de las personas con respecto a la formación de opiniones y la toma de decisiones. Aceptada la ideología, ésta se convierte en un atributo de los miembros del grupo o sociedad. Esto se ve también en el enfoque de Van Dijk cuando menciona que los grupos forman una *identidad social*. Esta identidad social, de acuerdo con la teoría de la identidad social (Tajfel, 1974), es “el conocimiento de un individuo de pertenecer a ciertos grupos sociales junto con el significado emocional o evaluativo de esa pertenencia”. Por tanto, para que el grupo exista, debe haber una identidad social compartida en forma de ideología.

En el Capítulo 4 se presenta un modelo de opinión, el cual considera la ideología y personalidad de los agentes, ambas características importantes y propias de los individuos de una sociedad.

CAPÍTULO 2

MODELADO BASADO EN AGENTES

2.1. ¿QUÉ ES LA MODELACIÓN BASADA EN AGENTES?

A partir de la década de los 90 del siglo XX, la programación en agentes se convirtió en una parte importante de la simulación, la cual emergió desde los campos de la complejidad, el caos, la cibernética, los autómatas celulares y la computación (Heath *et al.*, 2009). El objetivo de la programación basada en agentes es crear entidades computacionales que interactúan de forma “inteligente” con su entorno. Wooldridge y Jennings (1995) sugieren que los agentes computacionales se utilizan para denotar un sistema informático basado en *software* o *hardware* con las siguientes propiedades:

- *Autonomía*: los agentes operan sin la intervención directa de humanos u otros, y tiene cierto control sobre sus acciones y estados internos.
- *Habilidad social*: los agentes interactúan con otros agentes por medio de algún tipo de lenguaje computacional.
- *Reacción*: los agentes perciben su entorno (mundo físico, mundo virtual o un mundo simulado con otros agentes) y responden a éste.
- *Proactividad*: los agentes no sólo actúan y responden a su entorno, sino que también pueden ser capaces de tener un comportamiento dirigido hacia un objetivo tomando la iniciativa,

es decir, ya que los agentes reaccionan a su entorno, son capaces de tomar la iniciativa orientada a metas.

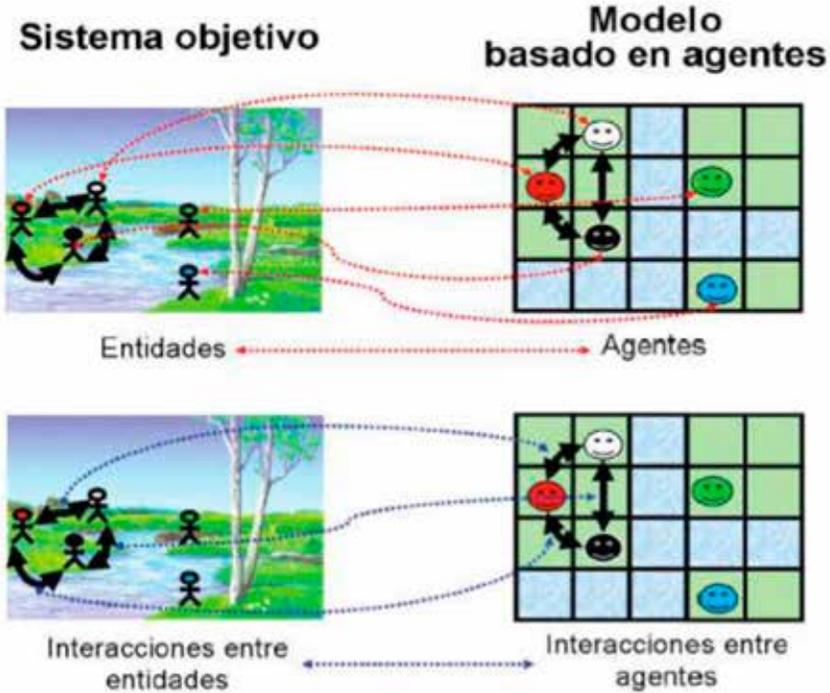
En este sentido, los agentes son capaces de moverse dentro de su entorno a través de “sensores”, por medio de los cuales perciben a sus vecinos locales. Por lo regular, la comunicación entre agentes se realiza por medio del envío de mensajes. Los agentes son capaces de escuchar los mensajes que provienen de su entorno y de enviarlos hacia el entorno.

Un modelo es una representación simplificada de un sistema. El proceso de plantear situaciones posibles o teóricas del funcionamiento del sistema se interpreta como realizar una simulación. La simulación basada en agentes es una técnica tremendamente útil para modelar sistemas complejos, en especial los sistemas sociales (Izquierdo *et al.*, 2008; Galán *et al.*, 2009); y, en este sentido, algunos de los atributos que interesa modelar entre los agentes sociales son conocimiento, creencias, opiniones, inferencias, metas, planeación, lenguaje y emociones, por mencionar algunos.

Los sistemas basados en agentes se caracterizan por comprender varios agentes que son, generalmente, autónomos, heterogéneos e independientes; que muestran cada uno sus propias metas y objetivos; y que son capaces de interactuar entre sí y con su entorno (Izquierdo *et al.*, 2008; Galán *et al.*, 2009; Torsun, 1995). En muchas ocasiones, son sistemas caracterizados por la existencia de un número grande de agentes relativamente simples que pueden evolucionar a lo largo del tiempo para adaptarse a nuevas condiciones del entorno o a nuevos objetivos. La Figura 2.1 muestra la manera en que la simulación basada en agentes abstrae del sistema real los elementos del sistema.

FIGURA 2.1

REPRESENTACIÓN DE LOS COMPONENTES BÁSICOS DEL SISTEMA REAL
 Y LAS INTERACCIONES EN LA SIMULACIÓN EN AGENTES. TOMADA DE
 IZQUIERDO *ET AL.* (2008: 98)



Una característica importante de la representación del sistema real es la forma en que interactúan los agentes. Por ejemplo, en la Figura 2.1, los agentes son colocados en una rejilla o malla, y las interacciones entre ellos se indican con flechas. Esta representación no es única; existen otras estructuras para describir la comunicación entre los agentes, mejor conocida como red social. Para ello, se trabaja con lo que matemáticamente se conoce como un *grafo* (Bondy y Murty, 1976). Los *nodos* (puntos o círculos) del grafo representan a los agentes; y las *aristas* (líneas), las vías de comunicación entre ellos. Por definición, un grafo G se compone de un conjunto de nodos $\{n_1, n_2 \dots n_N\}$ y un conjunto de aristas $\{e_1, e_2 \dots e_m\}$. De manera que si dos nodos-agentes n_1 y n_2 tienen algún tipo de relación o comunicación social, ésta se representa por

medio de una línea, llamada *arista* y denotada como e_1 , y se dice que los nodos-agentes están *conectados* (Figura 2.2).

FIGURA 2.2.A
REPRESENTACIÓN DE UNA RED SOCIAL

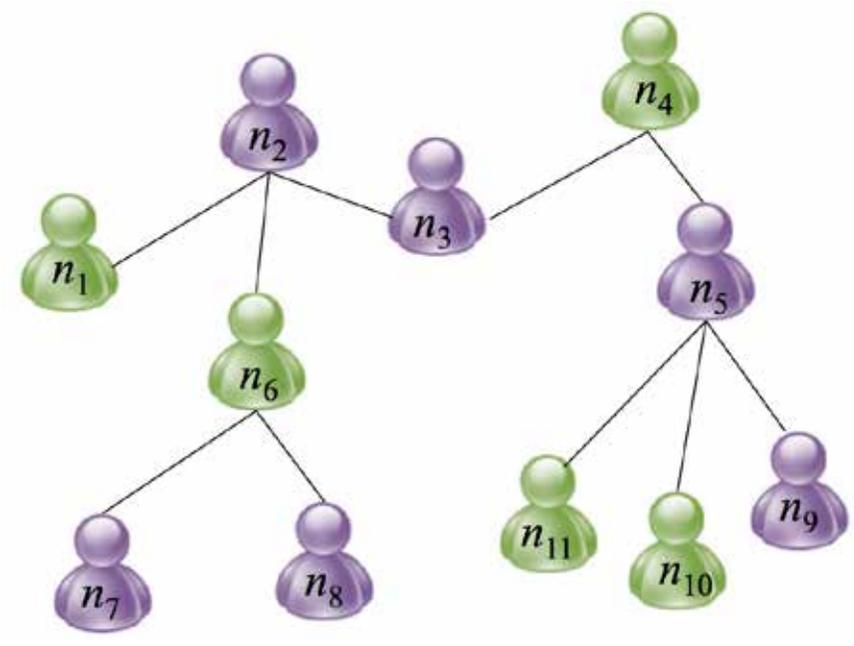
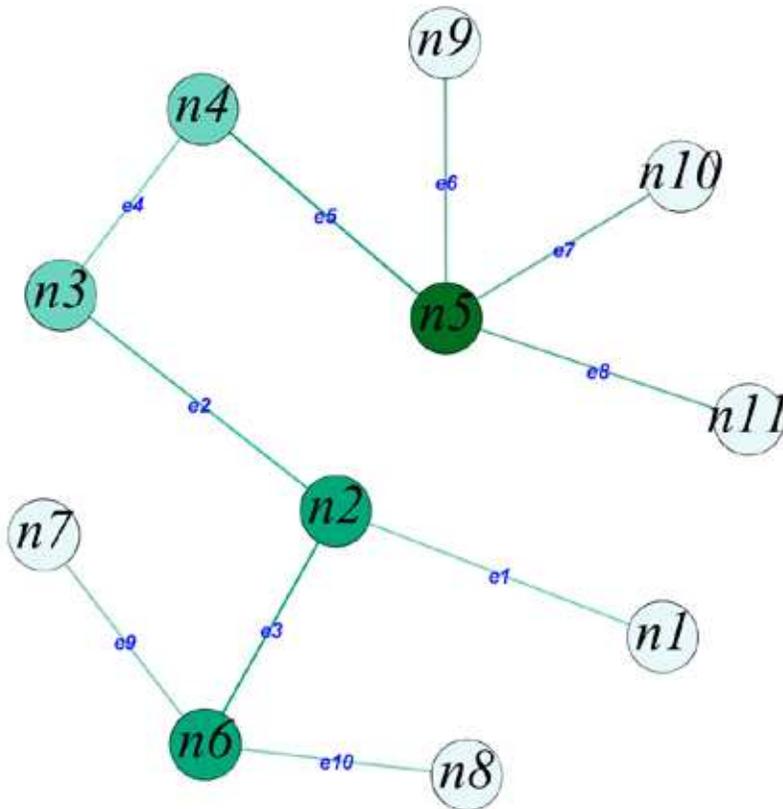


FIGURA 2.2.B

REPRESENTACIÓN DE UNA RED SOCIAL MEDIANTE UN GRAFO



Existen diversas estructuras de una red social, las más conocidas son (Figura 2.3):

- *Red completa*: que representa un grafo completo; en éste, cada nodo-agente de la red está conectado con cada uno del resto.
- *Red de mundo pequeño*: en este tipo de redes, cada nodo tiene, en promedio, el mismo número de conexiones. El modelo de Watts-Strogatz (Watts y Strogatz, 1998; Boccaro, 2010) proporciona una forma de generar este tipo de redes, en las cuales

la mayoría de los nodos no son vecinos entre sí, pero la mayoría de los nodos pueden ser alcanzados desde cualquier nodo origen mediante un número relativamente corto de pasos.

- *Red libre de escala*: este tipo de estructura se caracteriza por tener pocos nodos altamente conectados y muchos nodos con baja conectividad. El modelo de Barabási-Albert (Barabási y Albert, 1999) se emplea para generar este tipo de estructuras por medio de un mecanismo llamado enlace preferencial.

FIGURA 2.3.A.
DIVERSAS TOPOLOGÍAS DE UNA RED: COMPLETA.

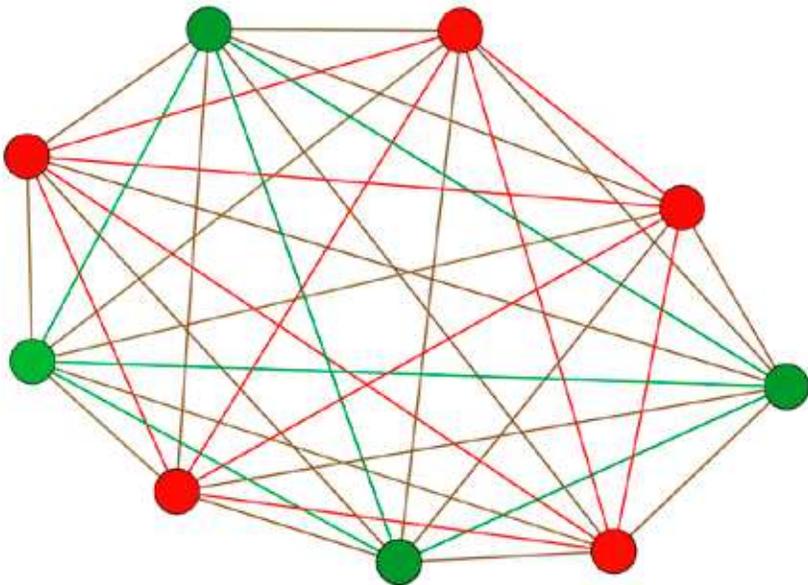


FIGURA 2.3.B

DIVERSAS TOPOLOGÍAS DE UNA RED: MUNDO PEQUEÑO

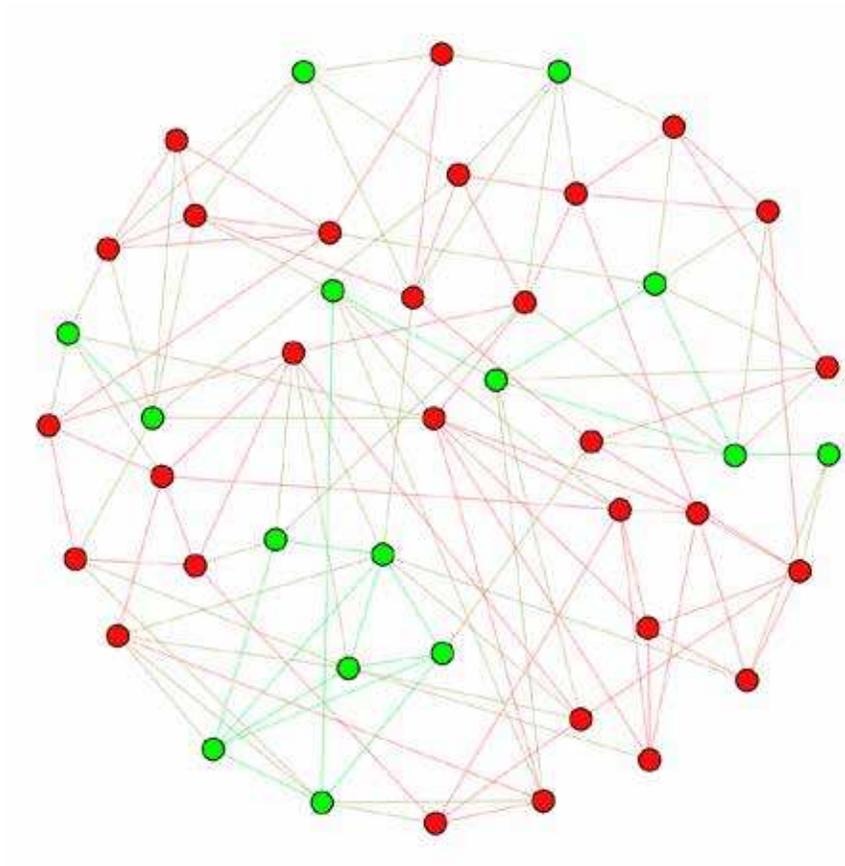
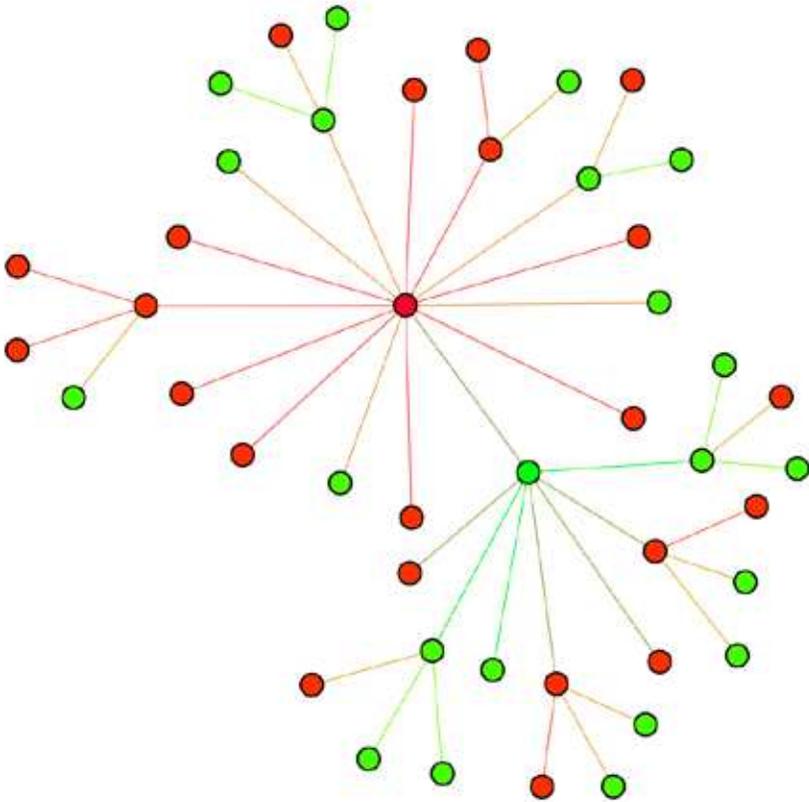


FIGURA 2.3.C

DIVERSAS TOPOLOGÍAS DE UNA RED: LIBRE DE ESCALA



En el modelado basado en agentes, los agentes son sistemas de *software* autónomos orientados a describir el comportamiento de las entidades sociales estudiadas (tanto individuos como organizaciones). Una ventaja de esta técnica de simulación es la capacidad para estimar el comportamiento de los agentes, la forma en que interactúan y los efectos de ese comportamiento e interacción. Como metodología, el proceso de modelado se compone de las siguientes etapas (Galán *et al.*, 2009):

- *Abstracción* del sistema objeto de estudio, para identificar el contexto y propósito del modelo. Esto es fundamental porque

las abstracciones que se hagan cuando se construya el modelo estarán dirigidas por los objetivos del estudio que se quiera realizar. Esta tarea es responsabilidad de los expertos en el dominio.

- *Diseño y especificación* del modelo basado en agentes. Se trata de formalizar y completar el modelo. Para realizar esta actividad, el modelador se apoyará en el paradigma de agentes.
- Transformación en un *modelo computacional* que se adapte a las características de la plataforma de simulación basada en agentes.
- *Programación* del modelo sobre la plataforma de simulación basada en agentes.
- *Inferencia*: obtención de las conclusiones lógicamente derivadas por el computador a partir de las premisas del modelo. Este proceso proporciona la recogida de evidencia mediante los experimentos computacionales, esto es, los resultados de la ejecución de las simulaciones.
- *Análisis* de resultados, que permite verificar el comportamiento del modelo computacional.
- *Interpretación* de los resultados, que permite validar el modelo basado en agentes.
- *Aplicación* al sistema objeto de estudio (generalización).
- Los roles presentes en el proceso son: experto del dominio del problema objeto de estudio, modelador, ingeniero informático y programador. Dependiendo del problema de estudio, una o más personas pueden tomar el mismo rol, y en ocasiones es una sola la que lleva todo el trabajo. La Figura 2.4 esquematiza el proceso mencionado.

FIGURA 2.4



La metodología basada en agentes ha sido ampliamente utilizada en diferentes disciplinas científicas (economía, finanzas, gestión de recursos naturales y ecología, antropología, sociología, biología o medicina) en las que, partiendo de reglas que determinan el comportamiento individual de los agentes, se pueden inferir las propiedades globales de todo el sistema. De esta manera, la simulación basada en agentes se destaca en sistemas complejos con las siguientes características (Gilbert y Troitzsch, 2005; Izquierdo *et al.*, 2008; Squazzoni, 2008):

- Sistemas con componentes individuales heterogéneos.
- Sistemas adaptativos, es decir, sistemas en los que los componentes individuales del sistema son capaces de aprender

(adaptación a escala individual), o bien pueden ser seleccionados y reemplazados de acuerdo con algún criterio (adaptación a nivel poblacional).

- Sistemas en los que el espacio geográfico pueda tener una influencia significativa.
- Sistemas en los que existen redes sociales de interacción.
- Sistemas en los que se desea analizar en profundidad la relación existente entre los atributos y comportamientos de los individuos (microescala) frente a las propiedades globales del grupo (macroescala).

Sin embargo, la verificación y validación de los modelos basados en agentes ha sido criticada por varios autores, como Axelrod (1997) y Davidsson (2000), debido a: *a*) las múltiples interacciones existentes entre los agentes, *b*) la frecuente emergencia de patrones en el sistema y *c*) a que la simulación es sensible a la interacción entre los agentes.

Por otro lado, para validar un modelo basado en agentes es necesario verificar que las relaciones en el nivel macro sean las esperadas y que los entornos del nivel micro sean una representación adecuada de la actividad de los agentes (entidades o elementos) (Gilbert, 2004). Por ello la importancia de la estandarización en el desarrollo de los modelos basados en agentes. Esta estandarización se realiza por medio del *protocolo estándar para la comunicación de modelos basados en agentes* propuesto por Grimm y otros, mejor conocido como Protocolo ODD (*Overview, Design concepts and Details*). Como instrumento metodológico para el análisis de modelos basados en agentes, el protocolo ODD promueve la representación rigurosa de los modelos facilitando las revisiones y futuras comparaciones entre modelos. De esto se hablará con más detalle en la siguiente sección.

Para la simulación basada en agentes, existen una variedad de *softwares* y plataformas de desarrollo. Sansores y Pavón (2005) presentan una breve introducción a estas herramientas de simulación, y además proponen un entorno de simulación de fácil definición enfocado a sociólogos, llamado Ingenias. Sin embargo, en el ambiente de simulación social es muy conocido el *software* NetLogo; y, desde un punto de vista

matemático, se utiliza Octave, Scilab o MatLab para la modelación de sistemas.

De esta manera, la simulación basada en agentes es una herramienta potente para la construcción de modelos que combina la riqueza descriptiva de los modelos verbales con el rigor formal de los modelos matemáticos más abstractos. El modelado y la simulación suponen, exigen o implican un trabajo de formalización matemática. Pero ésta no es una regla. En ocasiones, la matematización puede venir después como una verificación o una demostración de lo que se ha modelado o simulado. Lo que sí es necesario es reconocer que la simulación y el modelado requieren de un trabajo conceptual o teórico previo que conduzca a la necesidad de considerar problemas algorítmicos o computacionales, computacionalmente tratados (Gilbert y Conte, 1995; Maldonado y Gómez, 2010).

2.2. PROTOCOLO ODD

Desde los inicios de la simulación basada en agentes y sistemas multiagente (sistema compuesto por múltiples agentes inteligentes que interactúan entre ellos), ha sido patente la necesidad de contar con un estándar aceptado universalmente como protocolo para la creación de mundos artificiales, es decir, su formulación tanto escrita como formal matemática y su posterior programación. En un principio, al no existir lenguajes especializados en la programación de sistemas basados en agentes, los científicos entusiastas de este enfoque recurrían a lenguajes estándar como C++, lo que permitía que se pudiera usar la noción de objetos y se podía recurrir al protocolo de diseño de lenguaje unificado de modelado (UML) para especificar lo que hacía el programa. Para los científicos sociales, no basta sólo con el proceso de modelado, como se expresó en la Figura 2.4, es necesaria la conceptualización del fenómeno e interpretación en las variables indicadas.

Así, la formulación de un modelo basado en agentes significa procesar el modelo desde la parte heurística del modelo, en la cual se ha pensado acerca del problema que se está modelando, los datos, las ideas y las hipótesis, hasta la primera representación formal y rigurosa del

modelo (Grimm *et al.*, 2006). Es decir, los modelos basados en agentes ya no modelan al sistema en su totalidad (por ejemplo, modelos en ecuaciones diferenciales), sino que lo hacen por medio de los agentes individuales que constituyen el sistema. Como se mencionó antes, una de las características más importantes en el uso de la modelación basada en agentes es el surgimiento de propiedades macroscópicas a partir de “simples” reglas de nivel micro. Otra es que los agentes poseen una conducta adaptativa, es decir, tienen la capacidad de ajustar su comportamiento, el de los demás y su entorno dependiendo de su estado actual.

Sin embargo, la descripción del modelo queda en un lugar incierto entre la retórica y el formalismo matemático necesario en algunos modelos, pero infértil en otros. El modelo debe ser explicado lo mejor posible con fines de replicabilidad. Para lidiar con esto, Grimm *et al.* (2006) proponen un protocolo para la especificación de modelos basados en agentes, llamado Protocolo ODD, el cual proporciona una forma estándar para describir tales modelos.

Las siglas ODD describen los elementos principales del protocolo, que corresponden a los términos en inglés *overview*, *design concepts* y *details*, traducidos como “visión general, conceptos de diseño y detalles”. Aguilera y Posada (2017) describen cada uno de estos elementos aplicados a tres ejemplos dentro del campo de la sociología computacional, la economía computacional y la teoría computacional de las organizaciones. A continuación, expondremos de manera breve cada uno de los elementos del protocolo; para más detalles, puede consultarse Grimm *et al.* (2006) y Aguilera y Posada (2017):

- Visión general (*overview*): describe de manera general qué es y cómo está diseñado el modelo. Esto se hace al definir:
 1. **Propósito:** es una descripción general y breve del proceso que se intenta captar con el modelo.
 2. **Entidades, variables de estado y escalas:** exponer el tipo de entidades (agentes, entorno espacial, ambiente global) que representa el modelo; las variables de estado que caracterizan y cuantifican a las entidades (edad, tamaño, opinión, comportamiento estratégico; estructura de la

red; variables externas) y sus escalas (temporales y espaciales). Es decir, en esta parte se describe el estado del modelo en cada momento.

3. **Visión general de los procesos y programación:** describir los procesos que afectan a las variables de estado asociadas a las entidades del modelo, es decir, describir la dinámica de las entidades del modelo. Respecto a la programación, el objetivo es dar un orden a la sucesión de los procesos que afectan al sistema.
- Conceptos de diseño (*design concepts*): ésta es la parte esencial de la modelación basada en agentes, pues en ella es donde se establece el conjunto de propiedades y conceptos básicos para la aplicación del modelo. Cada uno de éstos se describen en Grimm *et al.* (2006) y Aguilera y Posada (2017).
 4. **Concepto de diseño:** principios básicos, emergencia, adaptación, objetivos, aprendizaje, predicción, detección, interacción, aleatoriedad, colectivos, observación (Figura 2.5).
 - Detalles (*details*): establecer los detalles necesarios para completar la descripción del modelo mediante:
 5. **Inicialización:** condiciones iniciales establecidas en la simulación.
 6. **Entradas:** detallar el inicio de las variables con el fin de conocer el estado de todas las variables y computar así las actualizaciones de tales variables.
 7. **Submodelos:** descripción detallada de las ecuaciones, reglas lógicas, algoritmos y parámetros del modelo.

En 2010, Grimm, *et al.* (2010) reportaron que había evidencia procedente de la base de datos “Web of Science” de que, desde su publicación en 2006, el protocolo ODD se había usado en más de cincuenta publicaciones científicas que involucraban modelos basados en agentes.

Podemos decir que el protocolo ODD está cada vez más extendido entre la comunidad de científicos que se dedican a generar modelos basados en agentes. A manera de resumir los elementos que definen el protocolo ODD, y para un llenado de éste, se presenta la Figura 2.5, en la cual, en modo de mapa conceptual, podemos observar de manera global cada uno de estos elementos y cómo se van relacionando entre sí.

FIGURA 2.5
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROTOCOLO ODD



2.3. SOFTWARE PARA EL MODELADO BASADO EN AGENTES

Existe una gran variedad de *software* para la simulación de fenómenos sociales (NetLogo, Phyton, MatLab, Julia, Ingenias, Scilab, Octave, etc.). En Abar *et al.* (2017), los autores realizan una exhaustiva investigación comparando 85 *softwares* para la simulación basada en agentes. El uso de éstos depende en gran medida del conocimiento que se tenga sobre programación y lo que se desea modelar. Algunos de estos *softwares* utilizan un lenguaje básico y otros recurren a representaciones matriciales. Por ejemplo, NetLogo y Matlab son dos *softwares* muy usados en la simulación de diversos fenómenos. Como ejemplo de aplicación y de

ambiente, mostraremos un modelo de segregación racial en cada uno de estos lenguajes: NetLogo y MatLab.

Thomas C. Schelling desarrolló un modelo de segregación racial (Schelling, 1971), el cual estudia la dinámica interactiva de las decisiones individuales discriminatorias. El modelo muestra cómo las interacciones locales de individuos mezclados conducen a una estructura a ordenada donde los *iguales* se encuentran *juntos*; es decir, conducen a una segregación social. Gracias a esta investigación y otras, Schelling recibió en 2005 el Premio Nobel de Ciencias Económicas, en colaboración con Robert Aumann. El modelo de Schelling se ha simulado en diversos lenguajes, con diversas modificaciones para el estudio de la segregación social; algunos de ellos se encuentran disponibles en la web para su difusión y uso. Por ejemplo, <http://ncase.me/polygons-es/> es una aplicación de dominio público, la cual muestra un simulador del modelo de Schelling y en la que se puede *jugar*.

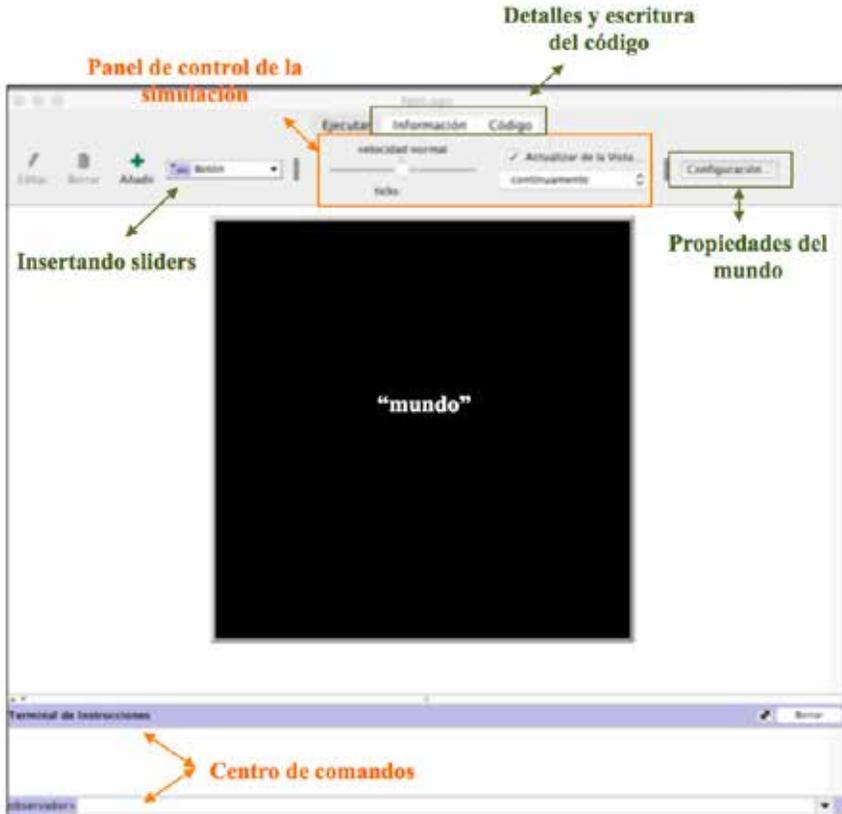
2.3.1. Modelo de Schelling en NetLogo

NetLogo es un entorno de programación basada en agentes construido en Java, por lo que es multiplataforma. Es de distribución libre y fue desarrollado por Uri Wilensky del Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, en Northwestern University; la página *web* es <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>.

La Figura 2.6 muestra la interfaz de NetLogo, en la cual podemos observar diversos botones para el centro de comandos, la escritura de código y la inserción de ventanas deslizantes.

FIGURA 2.6

INTERFAZ DE NETLOGO

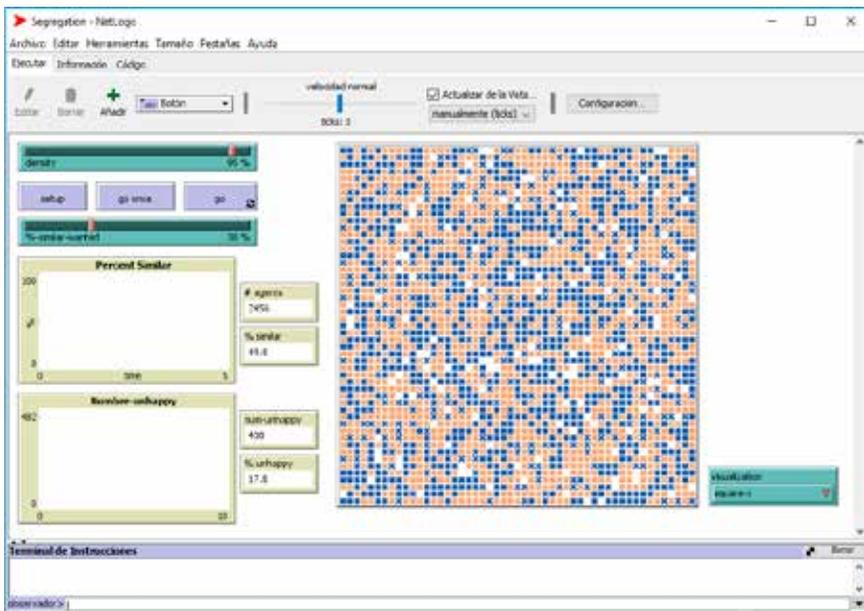


El modelo de Schelling en el lenguaje de NetLogo modela el comportamiento de dos tipos de agentes en un vecindario. Los agentes naranjas y los agentes azules se llevan bien unos con otros. Pero cada agente quiere asegurarse de que vive cerca de algunos de sus *iguales*. Es decir, cada agente naranja quiere vivir cerca de al menos algunos agentes naranjas, y cada agente azul quiere vivir cerca de al menos algunos agentes azules. La simulación muestra cómo estas preferencias individuales se propagan por todo el vecindario, lo que lleva a patrones a gran escala.

La ventana del laboratorio computacional para el modelo de Schelling se muestra en la Figura 2.7. En dicha figura se muestran los parámetros externos que alimentan al modelo, tales como la densidad

de agentes en el espacio y el índice de similitud requerida. Dichos parámetros se introducen al modelo mediante ventanas deslizantes (*sliders*). Se muestran, además, cuatro ventanas de salida en donde se grafican y contabilizan tanto el número de agentes como el porcentaje de similitud promedio y el número de agentes *infelices* por cada unidad de tiempo. Asimismo, se muestra el porcentaje de agentes *infelices*. Por ejemplo, se observan las condiciones iniciales de densidad de agentes, del 95%, y un porcentaje de similitud deseada del 30%, y la visualización del mundo bajo estas condiciones iniciales, es decir, el mundo artificial para el modelo de Schelling. Además, existen 2 456 agentes y 438 se encuentran en estado *infeliz*. El porcentaje de agentes *infelices* es de 17.8%.

FIGURA 2.7
MUNDO ARTIFICIAL DEL MODELO DE SCHELLING



En la pestaña de “código”, se escriben las instrucciones para la simulación del modelo. La Tabla 2.1 muestra las líneas de código para inicializar el modelo (condiciones iniciales) de la Figura 2.7.

TABLA 2.1
CÓDIGO DE INICIALIZACIÓN DEL MODELO DE SCHELLING

```

globals [
  percent-similar ; on the average, what percent of a turtle's neighbors
                  ; are the same color as that turtle?
  percent-unhappy ; what percent of the turtles are unhappy?
]

turtles-own [
  happy? ; for each turtle, indicates whether at least %-similar-wanted percent of
          ; that turtle's neighbors are the same color as the turtle
  similar-nearby ; how many neighboring patches have a turtle with my color?
  other-nearby ; how many have a turtle of another color?
  total-nearby ; sum of previous two variables
]
;
;
to setup
  clear-all
  ; create turtles on random patches.
  ask patches [

    set pcolor white
    if random 100 < density [ ; set the occupancy density
      sprout 1 [
        ; 105 is the color number for "blue"
        ; 27 is the color number for "orange"
        set color one-of [105 27]
        set size 1
      ]
    ]
  ]
  update-turtles
  update-globals
  reset-ticks
end

```

Para hacer que el “mundo” evolucione y los agentes se muevan, se completa el código con las líneas de procedimientos que realizarán los agentes, como se muestra en la Tabla 2.2. Como resultado, en la Figura 2.8 se muestra la evolución de 37 *ticks*. Dadas las condiciones iniciales, el modelo evoluciona a un patrón espacial en donde el número de agentes *infelices* es cero, y lo mismo pasa con dicho porcentaje. Espacialmente, se nota la formación de cúmulos de agentes azules y agentes naranjas. Nótese que el número de agentes *infelices* decrece de forma rápida.

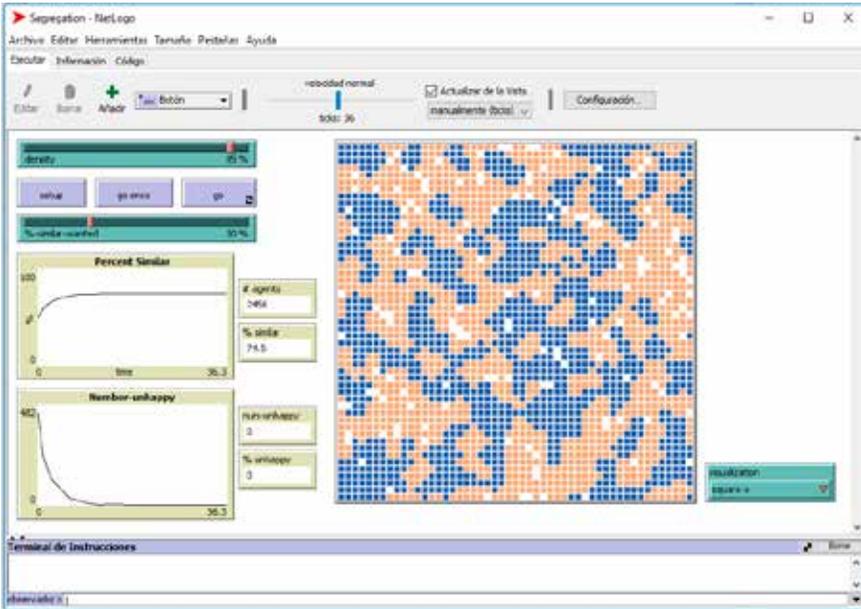
TABLA 2.2

CÓDIGO PARA MOVER A LOS AGENTES

```
; run the model for one tick
to go
  if all? turtles [ happy? ] [ stop ]
  move-unhappy-turtles
  update-turtles
  update-globals
  tick
end
; unhappy turtles try a new spot
to move-unhappy-turtles
  ask turtles with [ not happy? ]
    [ find-new-spot ]
end
; move until we find an unoccupied spot
to find-new-spot
  rt random-float 360
  fd random-float 10
  if any? other turtles-here [ find-new-spot ] ; keep going until we find an unoccupied patch
  move-to patch-here ; move to center of patch
end
;
to update-turtles
  ask turtles [
    ; in next two lines, we use "neighbors" to test the eight patches
    ; surrounding the current patch
    set similar-nearby count (turtles-on neighbors) with [ color = [ color ] of myself ]
    set other-nearby count (turtles-on neighbors) with [ color != [ color ] of myself ]
    set total-nearby similar-nearby + other-nearby
    set happy? similar-nearby >= (%similar-wanted * total-nearby / 100)
    ; add visualization here
    if visualization = "old" [ set shape "default" set size 1.3 ]
    if visualization = "square-x" [
      ifelse happy? [ set shape "square" ] [ set shape "x" ]
    ]
  ]
end
;
to update-globals
  let similar-neighbors sum [ similar-nearby ] of turtles
  let total-neighbors sum [ total-nearby ] of turtles
  set percent-similar (similar-neighbors / total-neighbors) * 100
  set percent-unhappy (count turtles with [ not happy? ]) / (count turtles) * 100
end
```

FIGURA 2.8

EVOLUCIÓN DEL MODELO DE SCHELLING

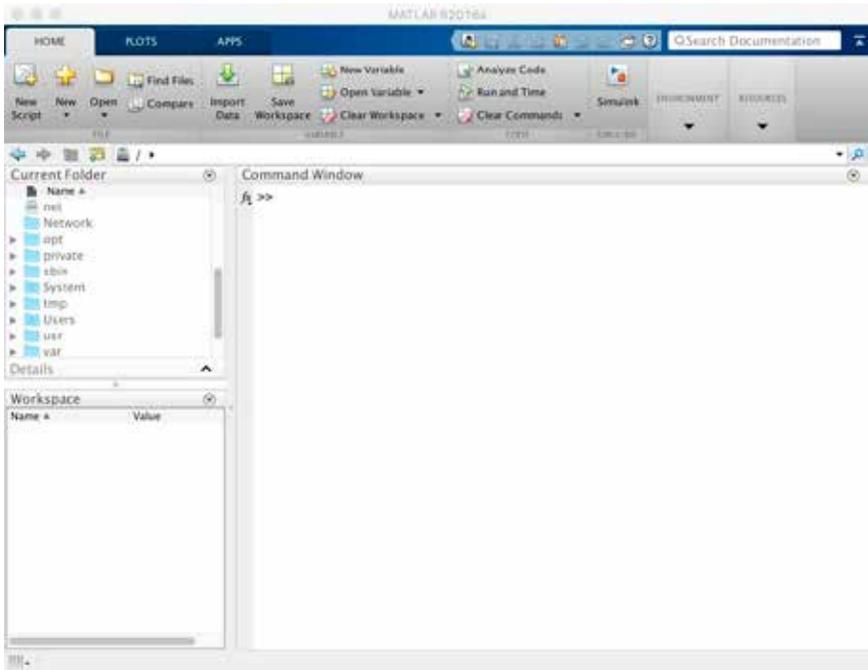


2.3.2. Modelo de Schelling en MatLab

Como se mencionó en la sección 2.1, la modelación basada en agentes (MBA) es una metodología para la construcción de modelos que combina la riqueza de los modelos verbales con el rigor formal de los modelos matemáticos. MatLab (abreviatura de *Matrix Laboratory*, “laboratorio de matrices”)¹ es una herramienta de *software* matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M), es un *software* propietario de MathWorks. La Figura 2.9 muestran la ventana de comandos en la cual se puede introducir las diversas expresiones para que las evalúe MatLab.

¹ Una *matriz* es un arreglo rectangular de n -renglones y m -columnas. Por ejemplo, $\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{pmatrix}$ es una matriz de 2×3 .

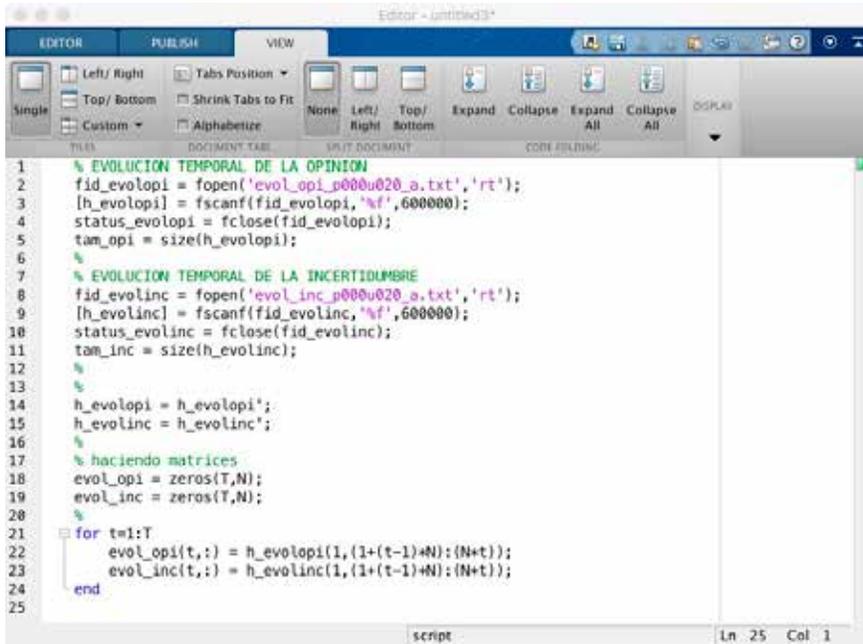
FIGURA 2.9
VENTANA DE COMANDOS DE MATLAB



Para la escritura de código (editor de textos de MatLab), se recomienda dar *click* en “New script”, y se abrirá una nueva ventana. En esta ventana se pueden ir escribiendo las líneas de código y compilar a la vez. Por ejemplo, la Figura 2.10 muestra algunas líneas de comando para abrir un archivo de texto, leerlo y guardar la información en una matriz.

FIGURA 2.10

EDITOR DE MATLAB



```
1 % EVOLUCION TEMPORAL DE LA OPINION
2 fid_evlopi = fopen('evol_opi_p000u020_a.txt','rt');
3 [h_evlopi] = fscanf(fid_evlopi,'%f',600000);
4 status_evlopi = fclose(fid_evlopi);
5 tam_opi = size(h_evlopi);
6
7 % EVOLUCION TEMPORAL DE LA INCERTIDUMBRE
8 fid_evloinc = fopen('evol_inc_p000u020_a.txt','rt');
9 [h_evloinc] = fscanf(fid_evloinc,'%f',600000);
10 status_evloinc = fclose(fid_evloinc);
11 tam_inc = size(h_evloinc);
12
13
14 h_evlopi = h_evlopi';
15 h_evloinc = h_evloinc';
16
17 % haciendo matrices
18 evol_opi = zeros(T,N);
19 evol_inc = zeros(T,N);
20
21 for t=1:T
22     evol_opi(t,:) = h_evlopi(1,(t-1)*N):(t)*N;
23     evol_inc(t,:) = h_evloinc(1,(t-1)*N):(t)*N;
24 end
25
```

Por medio de representaciones matriciales podemos codificar la red social que describe las relaciones entre los agentes, es decir, el grafo. También se pueden representar las propiedades o características de los agentes. Por ejemplo, para representar la red de mundo pequeño, se escribe una matriz llamada de adyacencia A , de tamaño $N \times N$, donde N es el número de agentes o una matriz B de tamaño $2 \times M$, siendo M el número de aristas en la red. En la representación de la matriz de adyacencia, por definición, es una matriz de 1 y 0, donde 1 significa que los nodos correspondientes a la posición fila-columna (i, j) están conectados, y 0 que no lo están. La matriz B es una representación más corta y simple sobre la red, pues cada columna describe qué nodos son los que están conectados. Por ejemplo, la red social de la Figura 2.2 se puede representar de las dos maneras que aparecen en la Tabla 2.3.

TABLA 2.3.A

DESCRIPCIÓN MATRICIAL DE LA RED SOCIAL DE LA FIGURA 2.2: MATRIZ DE
ADYACENCIA

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

TABLA 2.3.B
OTRA DESCRIPCIÓN MATRICIAL DE LA RED SOCIAL DE LA FIGURA 2.2

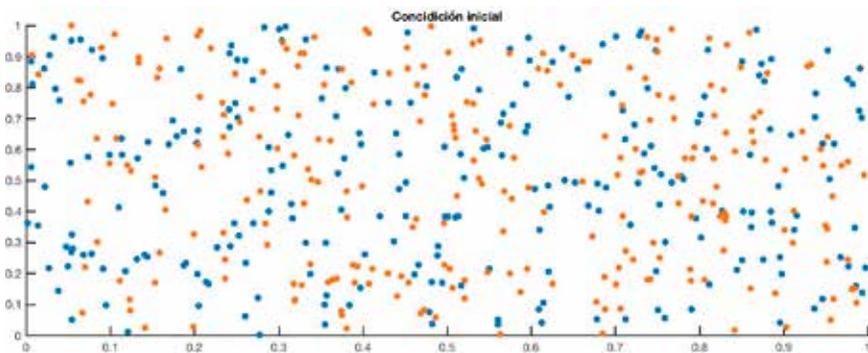
$$B = \begin{pmatrix} n_1 & n_2 & n_2 & n_3 & n_4 & n_5 & n_5 & n_5 & n_6 & n_6 \\ n_2 & n_3 & n_6 & n_4 & n_5 & n_9 & n_{10} & n_{11} & n_7 & n_8 \end{pmatrix}$$

Así que, mediante propiedades algebraicas de matrices, se puede describir la evolución de un sistema social y obtener datos, los cuales serán graficados para una visualización y mejor comprensión de la dinámica del sistema. Por ejemplo, el modelo de Schelling en MatLab lo podemos ver como sigue, de acuerdo con un ejemplo propuesto por Lukas Pütman en su página web <http://lukaspuettmann.com/>.

Existen dos tipos de agentes: naranjas y azules; todos ellos se sitúan en espacio euclidiano $[0,1] \times [0,1]$, donde cada coordenada (x, y) determina la posición de un agente. Diremos que un agente está *feliz* si la mitad o más de sus diez vecinos más cercanos son del mismo tipo. En caso contrario, diremos que es *infeliz*. La cercanía se mide con base en la distancia de R2, es decir, la distancia entre dos agentes con posiciones (x_1, y_1) y (x_2, y_2) es $d(x_1, y_1), (x_2, y_2) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$. Por ejemplo, si las posiciones de los agentes son $(x_1, y_1) = (0.5, 0.12)$ y $(x_2, y_2) = (0.2, 0.8)$, entonces la distancia entre ellos es $d(x_1, y_1), (x_2, y_2) = \sqrt{(0.2 - 0.5)^2 + (0.8 - 0.12)^2} = 0.74$.

El código computacional en MatLab esta representado por la Tabla 2.4, que muestra la manera como se definen inicialmente los parámetros del modelo y la dinámica temporal. Por ejemplo, en principio se tienen $n = 250$ agentes naranjas (tipo 0) y azules (tipo 1) distribuidos de manera uniforme en el espacio $[0,1] \times [0,1]$, lo que genera 500 posiciones (x, y) (Figura 2.11).

FIGURA 2.11
DISTRIBUCIÓN INICIAL DE LOS AGENTES EN EL ESPACIO $[0,1] \times [0,1]$



Luego, cada agente tiene la oportunidad de moverse o no. Si el agente es *feliz*, se quedará en su posición, si es *infeliz*, se moverá una posición aleatoria. Las gráficas de la Figura 2.12 muestran la distribución de los agentes en la segunda y en la iteración cincuenta. Como vemos, en cada paso se observa cómo va cambiando la segregación social.

TABLA 2.4

CÓDIGO DE SCHELLING EN MATLAB

```

n = 250; % numero de agentes
N = 2*n; % total de agentes
T = 12; % numero de interacciones
color = [1 0.45 0.1]; % definiendo el color naranja
%
locs = rand(N, 2); % posicion (x,y)
types = [ones(n, 1); zeros(n, 1)]; % tipos de agentes, naranja-azul
%
figure
set(gca, 'FontSize', 16)
%
scatter(locs((types == 1), 1), locs((types == 1), 2), 'filled', 'o')
hold on
scatter(locs((types == 0), 1), locs((types == 0), 2), [], color, 'filled', 'o')
title('Condicición inicial')
print('test0', '-dpng')
hold off
%
for t = 1:T
    for i = 1:N
        others = [locs(1:(i-1),:); locs((i+1):end,:)];
        %
        dist = pdist2(locs(i,:), others); % distancia euclidiana
        %
        [~, ix] = sort(dist);
        nearestAgents = (ix <= 10);
        %
        sameNeighbors = sum(types(i) == types(nearestAgents));
        %
        isHappy = (sameNeighbors >= 5);
        %
        if not(isHappy)
            locs(i,:) = rand(1, 2);
        end
    end
end
%
fprintf('Iteración %d/%d.\n', t, T)
%
figure
set(gca, 'FontSize', 16)
grid on
scatter(locs((types == 1), 1), locs((types == 1), 2), 'filled', 'o')
%
hold on
scatter(locs((types == 0), 1), locs((types == 0), 2), [], color, 'filled', 'o')
title(['Iteración ', num2str(t)])
print(['test', num2str(t)], '-dpng')
hold off
%
end

```

FIGURA 2.12.A

RESULTADO DE LA SIMULACIÓN DEL MODELO DE SCHELLING, CON $N = 250$
AGENTES NARANJAS Y AZULES: ITERACIÓN 2

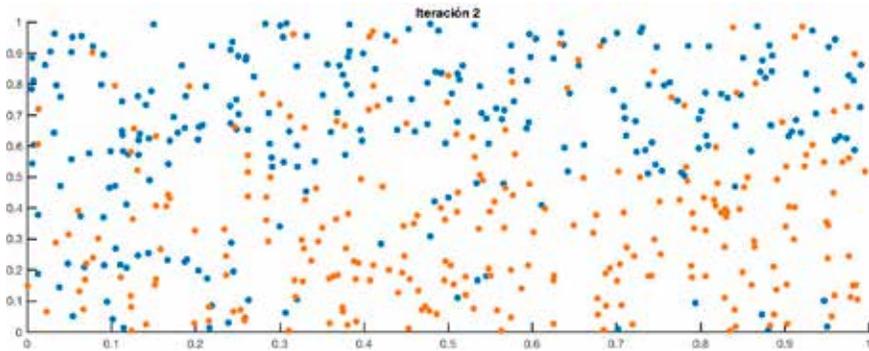
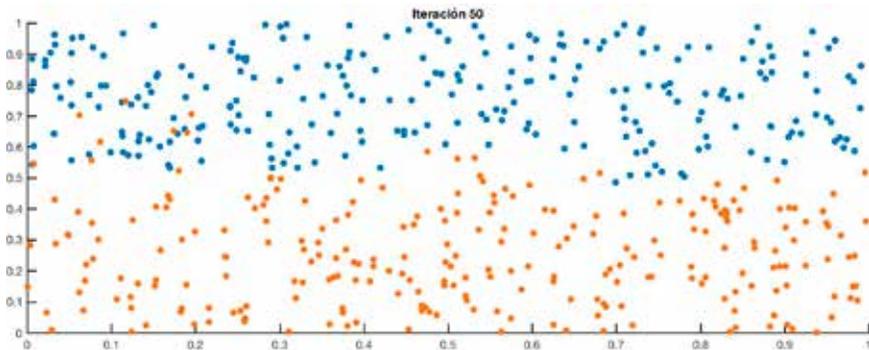


FIGURA 2.12.B

RESULTADO DE LA SIMULACIÓN DEL MODELO DE SCHELLING, CON $N = 250$
AGENTES NARANJAS Y AZULES: ITERACIÓN 50.



Como vemos, el mismo modelo está representado en dos lenguajes distintos mediante “diferentes” representaciones tanto computacional como matemáticamente. Sin embargo, en ambos casos se representan las condiciones iniciales de los agentes y su objetivo, de acuerdo con el modelo de Schelling, donde se obtiene el mismo resultado: segregación social. En los capítulos 3 y 4 se presentarán dos modelos que exponen dos fenómenos sociopolíticos, con la finalidad de mostrar que la simulación y la modelación basada en agentes son una herramienta de

gran ayuda para el análisis de fenómenos sociales, ya que el uso de esto ayudaría a comprender y analizar los diversos escenarios sociales y sus consecuencias, lo cual en la vida real no es fácil de llevar a cabo.

NOTA

CAPÍTULO 3

MODELO DE DESOBEDIENCIA CIVIL DE EPSTEIN

3.1. MODELANDO LA DESOBEDIENCIA CIVIL

El modelo sugerido por Epstein (2002) se basa en el de Timur Kuran (1989) y en el trabajo de James DeNardo (1985). Ambos ofrecen una explicación sobre la relación que existe entre los movimientos radicales y los regímenes tradicionales. El modelo presentado aquí es una simplificación del modelo sugerido por Epstein (2002). Es un modelo computacional de desobediencia civil basado en agentes con el objetivo de mostrar la dinámica de los agentes en presencia de un régimen establecido, representado mediante policías, y cómo va surgiendo la presencia de agentes desobedientes o rebeldes.

Para que en una sociedad se presente una desobediencia civil, se necesita de la representación de un agravio político ante la presencia del régimen existente. Este agravio político se presenta de manera externa, es decir, es el que se manifiesta y el que puede ser observado por medio de protestas, por ejemplo. Sin embargo, existen otras particularidades de los ciudadanos que se presentan de manera interna, es decir, que no son exteriorizadas y sólo son observables para el propio agente. Por ejemplo, la percepción individual del agente ante la carencia de recursos sociales, políticos, físicos; el valor, ánimo o riesgo individual del agente para rebelarse ante el gobierno presente, etc. Este modelo busca representar esas características de ciudadanos y gobierno mediante un modelo basado en agentes. A continuación, se definen los elementos y

las propiedades del modelo, para luego mostrar resultados de las simulaciones realizadas.

3.2. DEFINICIÓN Y PROPIEDADES DEL MODELO DE EPSTEIN

Supongamos que existe una sociedad con un cierto régimen, compuesta de ciudadanos y policías. Los ciudadanos i perciben la legitimidad del gobierno y dan un valor a éste. La *legitimidad* la denotaremos por L y tendrá un valor en el intervalo $[0,1]$, siendo el mismo para todos los ciudadanos. También, éstos poseen una *percepción individual de la carencia de recursos*, que denotaremos por la letra H_i , y tendrá un valor en el intervalo de $[0,1]$. De tal modo, el nivel de *queja* o *reclamo* ante el régimen lo define la ecuación:

$$\text{ECUACIÓN 3.1} \\ Q_i = H_i (1 - L)$$

De manera que el nivel de reclamo del agente es el producto de la percepción de carencias por la *ilegitimidad* del régimen. Notemos que si la legitimidad del régimen es alta ($L = 1$), entonces no hay un agravio o queja política de los ciudadanos ($Q_i = 0$). Por otro lado, si los ciudadanos perciben una alta carencia de recursos ($H_i = 1$), entonces se espera un alto nivel de queja ($Q_i = 1$) ante la baja legitimidad del gobierno ($L \approx 0$). Ahora, aunque la acción de rebelarse depende del nivel de agravio que se tiene, también depende de la disposición del ciudadano a manifestarse. Para ello, se define R_i como el *nivel de oposición* o *riesgo* del agente para manifestarse, cuyo valor pertenece al intervalo $[0,1]$.

En la vida real, los ciudadanos de una sociedad tienen un alcance limitado sobre la información de otros ciudadanos, con el fin de conocer información respecto al régimen dado, por ejemplo. En este sentido, se definen en los modelos basados en agentes, la vecindad de cada agente en función del *rango de visión* que tienen. En NetLogo se manejan dos tipos de vecindades contando el número de celdas (parches) alrededor

del agente. En la vecindad de von Neumann de radio r , el número de celdas viene dado por $2r(r + 1)$, mientras que la vecindad de Moore de radio r tiene $(2r + 1)^2 - 1$ celdas (Figura 3.1). NetLogo considera el centro de la vecindad en la dinámica del modelo. Para más detalles, revísense Aguilera y Posada (2017) y García-Valdecasas (2016).

FIGURA 3.1.A
VECINDAD DE VON NEUMANN, DE RADIO $r = 1$

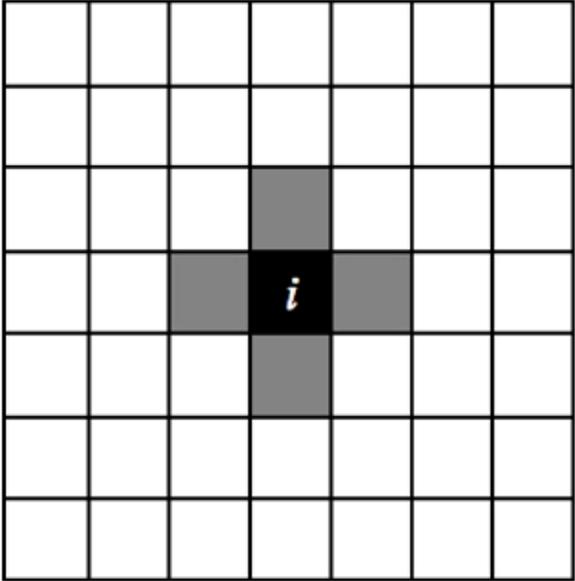
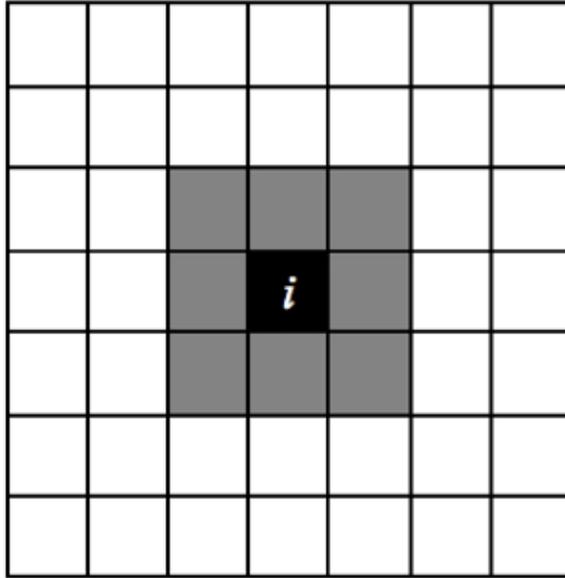


FIGURA 3.1.B

VECINDAD DE MOORE, DE RADIO $R = 1$



En este sentido, denotemos por v la visión de los ciudadanos y por v^* la visión de los policías. La *probabilidad de arresto de un ciudadano* debe tomar en cuenta el número de ciudadanos rebeldes en la visión del ciudadano i y el número de policías, ya que es natural el comportamiento de no rebelarse si existen muchos policías alrededor, pues eso ocasionaría el encarcelamiento. Por tanto, se define la probabilidad de arresto P_i del ciudadano i como

$$\text{ECUACIÓN 3.2}$$

$$P_i = 1 - e^{-k(C/A)v}$$

En la Ecuación 3.2, el término $(C/A)v$ cuantifica el número de policías (C) y el número de ciudadanos rebeldes (A) en el rango de visión (v) del ciudadano i . Nótese que $A \geq 1$, ya que el propio ciudadano i es considerado, en la probabilidad, como un ciudadano que podría activarse y, por tanto, rebelarse. De modo que, en el caso de $A = 1$, el mismo ciudadano

sopesa qué le pasaría si se rebela con al menos un policía a su alrededor. Lo más natural es que sea arrestado y llevado a la cárcel, es decir que $P_i \approx 1$. Supongamos que $A = 1$ y $C = 1$, y que un valor considerable de la probabilidad de arresto es $P_i = 0.9$, entonces el valor de k se calcula de la siguiente manera:

$$P_i = 0.9 \Rightarrow 0.9 = 1 - e^{-k} \Rightarrow 1 - e^{-k} = 1 - 0.9 = 0.1 \Rightarrow e^k = 10 \Rightarrow k = \ln 10 \approx 2.3$$

Considerando este hecho, se establece el valor de $k = 2.3$ para las simulaciones del modelo. Notemos entonces que, para un nivel fijo de policías, la probabilidad de arresto del ciudadano disminuye donde hay más ciudadanos rebeldes (activos). Por otro lado, a un ciudadano neutral, y ante el riesgo de manifestarse ($R_i = 0.5$), poco le importará la probabilidad de su arresto al rebelarse o no, a diferencia de un ciudadano “temeroso” ($R_i \approx 1$), al cual sí le importa ser arrestado. Por ello, es útil definir el *riesgo total del ciudadano* como el producto del riesgo a manifestarse por la probabilidad de arresto:

ECUACIÓN 3.3

$$N_i = R_i P_i$$

En cuanto a la dinámica de ciudadanos y policías, se definen tres reglas básicas. La primera de ellas, además de tomar en cuenta los riesgos y la probabilidad de arresto de los ciudadanos, define la activación para que éstos se vuelvan rebeldes mediante un *umbral de activación* que denotaremos como T .

Regla de activación: Si $Q_i - N_i > T$, el ciudadano i se activa, y se convierte en un ciudadano rebelde; en otro caso, se queda quieto como un ciudadano normal.

De manera que en función del reclamo Q_i y el riesgo neto N_i , el ciudadano cambia de un estado “normal” a un estado “rebelde”. La siguiente regla se refiere al comportamiento de los policías, la cual está en función de su visión v^* :

Regla de comportamiento de policías: Los policías examinan todos los sitios dentro de su vecindad v^* , y arrestan a un ciudadano rebelde elegido de manera aleatoria.

Ahora, ya encarcelado el ciudadano rebelde se considera el tiempo que pasará en la cárcel mientras continúa la dinámica de la sociedad. Para ello, se define un *tiempo máximo de encarcelamiento* t_{max} . Una vez que pasa dicho tiempo, el agente encarcelado vuelve a la sociedad, otra vez como agente pasivo. La tercera regla para la dinámica del sistema consiste en determinar la manera en que ciudadanos y policías se moverán a través del espacio urbano:

Regla de movimiento: Ciudadanos y policías se mueven de manera aleatoria dentro de su vecindad.

Por ejemplo, supongamos que tenemos un agente i con una vecindad de von Neumann de radio 1 (rango-visión con valor 1) como se muestra en la Tabla 3.1. Las celdas j representan a ciudadanos normales, la celda A_1 representa a un ciudadano rebelde y P_1 a un policía. En esta sociedad hay una legitimidad del gobierno de $L = 0.5$, el umbral de activación es $T = 0.1$ y el agente i tiene un alto nivel de carencias de recursos ($H_i = 1$) por lo cual no le importa tanto arriesgarse a manifestarse ($R_i = 0.1$). Dada la configuración de su vecindad y lo mencionado, es muy probable que éste se active y se vuelva rebelde, y se mueva a una celda dentro de su vecindad. Por otro lado, haciendo el cálculo con las ecuaciones se tiene que $Q_i - N_i > T$, de acuerdo con la regla de activación, el ciudadano se activará, como se mencionó, y el agente pasará a un estado rebelde.

TABLA 3.1.A

EJEMPLO DE CONFIGURACIÓN DE UN CIUDADANO i Y REGLA DE
ACTIVACIÓN: VECINDAD DE VON NEUMANN

		j_1		
	j_2	i	P_1	
		A_1		

TABLA 3.1.B

EJEMPLO DE CONFIGURACIÓN DE UN CIUDADANO i Y REGLA DE
ACTIVACIÓN: CÁLCULOS MATEMÁTICOS

$$Q_i = H_i(1 - L) = 1(1 - 0.5) = 0.5$$

$$R_i = 0.1$$

⇒

$$P_i = 1 - e^{-2.3\left(\frac{1}{1+1}\right)} \approx 0.683$$

⇒

$$N_i = R_i P_i = 0.068$$

⇒

$$Q_i - N_i = 0.5 - 0.068 = 0.43 > 0.1$$

3.3. PROTOCOLO ODD DEL MODELO DE DESOBEDIENCIA CIVIL

3.3.1. *Visión general*

Propósito: Representar la inconformidad y desobediencia que se genera en una población en función del grado de legitimidad que tiene el gobierno (L), el rango de visión de los agentes (v) y el tiempo máximo (t_{max}) que pueden pasar en la cárcel los agentes rebeldes.

Entidades, variables de estado y variables de escala: Las entidades son los agentes de la población. Existen dos tipos de agentes: los agentes ciudadanos y los agentes policías. Los agentes ciudadanos pueden estar activos (rebeldes), pasivos o encarcelados. La unidad espacial de los agentes es un mundo artificial compuesto por un enrejado de parcelas que conforman un toroide¹ de dimensiones 40×40 . El ambiente está caracterizado por la variable exógena de legitimidad del gobierno (L). Respecto a las escalas, cada parcela del mundo artificial contiene un

¹ Por defecto, es una cuadrícula en la que las parcelas de cada extremo tienen como vecindades inmediatas las del extremo opuesto.

agente (ciudadano o policía). La escala de tiempo es un *tick*, el cual no necesariamente representa una escala de tiempo real.

Visión general de los procesos y programación: La programación se realizó en NetLogo 6.0, y el proceso general es el siguiente:

- Se crean dos tipos de agentes en el mundo artificial, situados de forma aleatoria en el espacio virtual: ciudadanos y policías.
- Los agentes proceden de la siguiente manera:
 - Si son policías, buscan agentes rebeldes (activos) dentro de su rango de visión, y en caso de encontrar un agente rebelde proceden a cambiarle su estado a encarcelado. Los ciudadanos “ven” sus alrededores y deciden si cambian de estado o lo mantienen.
 - Los policías tienen el efecto de inhibir la rebelión de los ciudadanos: si un ciudadano quiere cambiar su estado de pasivo a rebelde, pero hay un policía dentro de su rango de visión; entonces, el ciudadano decide ser pasivo.
 - Si el ciudadano se encuentra en un estado rebelde, sólo puede cambiar a encarcelado si un policía lo captura. Si es capturado, deja de moverse en el espacio virtual. Esta captura del rebelde no es determinista sino probabilista.

Descripción general de la programación: El movimiento de los agentes y la selección de éstos se determina de manera aleatoria dentro de la vecindad de cada agente. Inicialmente se establecen los valores de las densidades de ciudadanos y policías en la sociedad, el valor de k y el umbral de activación. Los ciudadanos y policías son creados y distribuidos de manera aleatoria en toda la región. El valor del riesgo individual de los ciudadanos R_i y la percepción de carencia de recursos H_i se distribuyen de manera aleatoria y uniforme, en el intervalo $[0,1]$, para todos los ciudadanos. Inicialmente, ningún ciudadano está en calidad de rebelde y el tiempo de cárcel es 0.

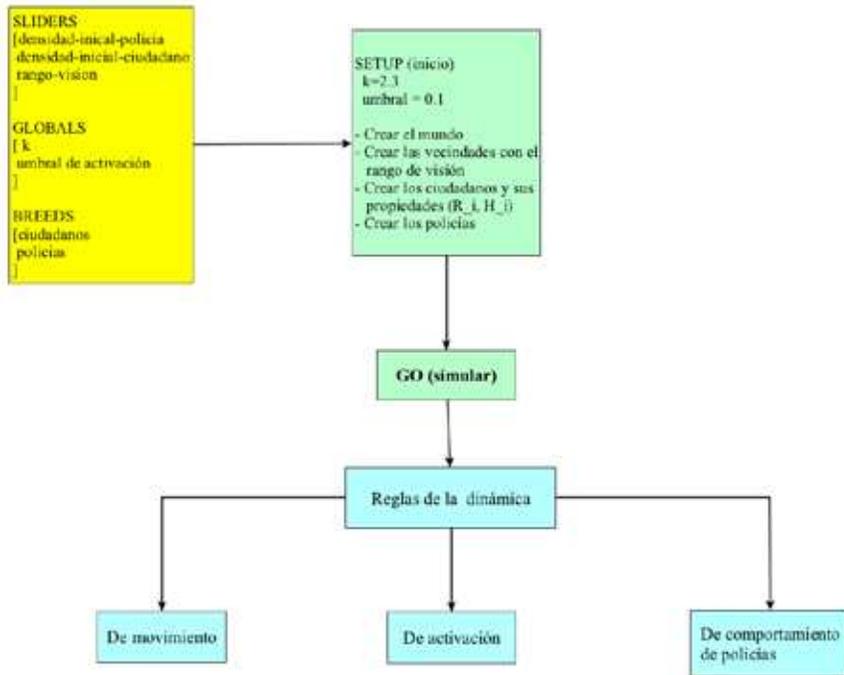
Especificaciones de la programación y los procesos en ella: Es importante recordar que la suma de las densidades de los agentes ciudadanos

y policías no debe exceder el 100%, ya que, además de ser lógico, dada la simulación y la regla de movimiento, no existiría una posición para el movimiento de ciudadanos, ya que cada ciudadano sólo puede ocupar un sitio o parcela. Esto no pasa en el caso de que un ciudadano es encarcelado: la parcela de un policía puede ser ocupada por un ciudadano encarcelado, y éste estará ahí de acuerdo con el tiempo de cárcel establecido, el cual es un número aleatorio entre 0 y t_{max} .

Diagrama de flujo del código: La Figura 3.2 muestra los procesos en el modelo de desobediencia civil. La dinámica en este modelo se justifica mediante las reglas básicas de movimiento de los agentes, la activación de ciudadanos rebeldes y el comportamiento de los policías para encarcelar a esos ciudadanos rebeldes o activos.

FIGURA 3.2

DIAGRAMA DE LOS PROCESOS EN EL MODELADO DE DESOBEDIENCIA CIVIL



3.3.2. *Conceptos del diseño* (Design concepts)

Principios básicos: El modelo sugerido por Epstein (2002) se basa en el modelo de Timur Kuran (1989) y en el trabajo de James DeNardo (1985). Ambos ofrecen una explicación sobre la relación que existe entre los movimientos radicales y los regímenes tradicionales. El modelo presentado aquí es una simplificación del modelo sugerido por Epstein.

Emergencia: El fenómeno emergente del modelo es la revolución de la sociedad artificial ante la presencia de los ciudadanos rebeldes y encarcelados. Dicho fenómeno está en función de la legitimidad que tiene el gobierno con respecto a sus ciudadanos. Cuando la legitimidad es

absoluta (= 1) no surge la rebelión. Cuando la legitimidad es nula (= 0), surge la rebelión y la inconformidad de los ciudadanos es máxima.

Objetivos: Los ciudadanos no tiene un objetivo *per se*. Los policías tienen el objetivo de reprimir la rebelión.

Detección: Ciudadanos y policías detectan (observan) su entorno. Esto lo hacen observando el conjunto de celdas a su alrededor y toman decisiones con respecto a la información obtenida de dicha observación. Los ciudadanos observan la proporción de agentes en estado rebelde y, dada la regla de activación, cambian su estado. Cuando los policías detectan a un ciudadano rebelde, lo capturan y éste pasa a estado de encarcelado.

Aleatoriedad: Los agentes se encuentran distribuidos en el mundo artificial de manera aleatoria. El movimiento para la búsqueda de los agentes rebeldes se realiza también aleatoriamente (véase la regla de movimiento). Sólo el porcentaje de policías y ciudadanos es calculado manualmente.

Colectivos: Existen dos tipos de colectivos: ciudadanos y policías.

Observación: Se observa la dinámica del sistema por medio de una gráfica que muestra el número de ciudadanos pasivos, rebeldes y encarcelados por *tick*. También, se observa el comportamiento espacial, donde se muestra el movimiento de los ciudadanos y policías.

3.3.3. *Detalles* (Details)

Inicialización: Se inicia con el porcentaje de densidad de policías y ciudadanos que se va a querer tener en el modelo, los cuales se distribuyen de manera aleatoria. La suma de estas densidades debe ser menor al 100% para que ocurra el movimiento de los agentes. Los ciudadanos están en forma de círculo de color verde (en diversos matices), los policías en forma de estrella (azul), y los espacios disponibles están vacíos. Como se mencionó, se establece el valor de $k = 2.3$ y el umbral de

activación como $T = 0.1$. Inicialmente, la variable “rebelde” se encuentra en falso (*false*). A cada agente se le asignan colores representativos en función del tipo y características:

- Si un ciudadano tiene tendencia a ser rebelde, se le proporciona un color verde fuerte; y cuando llega a rebelarse, se le da el color rojo.
- A un ciudadano con baja tendencia a rebelarse se le proporciona un color verde claro.
- Por medio de una barra móvil (*legitimidad-gobierno*) se asigna el valor de la legitimidad del gobierno $L \in [0,1]$, la cual se puede establecer en pasos de 0.1.
- Se construye otra barra móvil que determina el máximo de tiempo en la cárcel (*max-tiempo-carcel*), medido en *ticks*.
- La visión de los agentes se define como una vecindad de von Neumann de radio *rango-vision*, esto mediante otra barra móvil, con valores en $[0,10]$ en pasos de 0.1.

Datos de entrada: No existen datos externos para el modelo.

Submodelos: El modelo aquí propuesto tiene cuatro parámetros: la proporción de ciudadanos y policías (densidad inicial), la legitimidad del gobierno, el rango de visión y el tiempo que permanecerán los agentes rebeldes encarcelados al ser atrapados. La ecuación del modelo es la definida por la Ecuación 3.1, cuya interpretación es:

- A mayor legitimidad del gobierno ($L \approx 1^-$, acercándose a 1 por la izquierda), menor será la relevancia de la privación individual y, por ende, menor será la tendencia a rebelarse.
- A menor legitimidad del gobierno ($L \approx 0^+$, acercándose a 0 por la derecha), mayor será la importancia de la privación individual percibida y, por ende, mayor será la tendencia a rebelarse.

Cabe señalar que, para las simulaciones realizadas, la función de probabilidad de arresto P_i se calcula como $1 - e^{-k \cdot \text{floor}(\frac{C}{A})_v}$ donde el

valor $\text{floor}(\frac{C}{A})_v$, se define como el “piso” de esa división, es decir, se redondea al entero hacia abajo más cercano.

3.4. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

Se realizaron diversos experimentos considerando diversas longitudes para el rango de visión, diferentes proporciones de policías y ciudadanos, valores en la legitimidad L y tiempo máximo de cárcel (Tabla 3.2).

TABLA 3.2
CONDICIONES INICIALES EN EL MODELO DE EPSTEIN

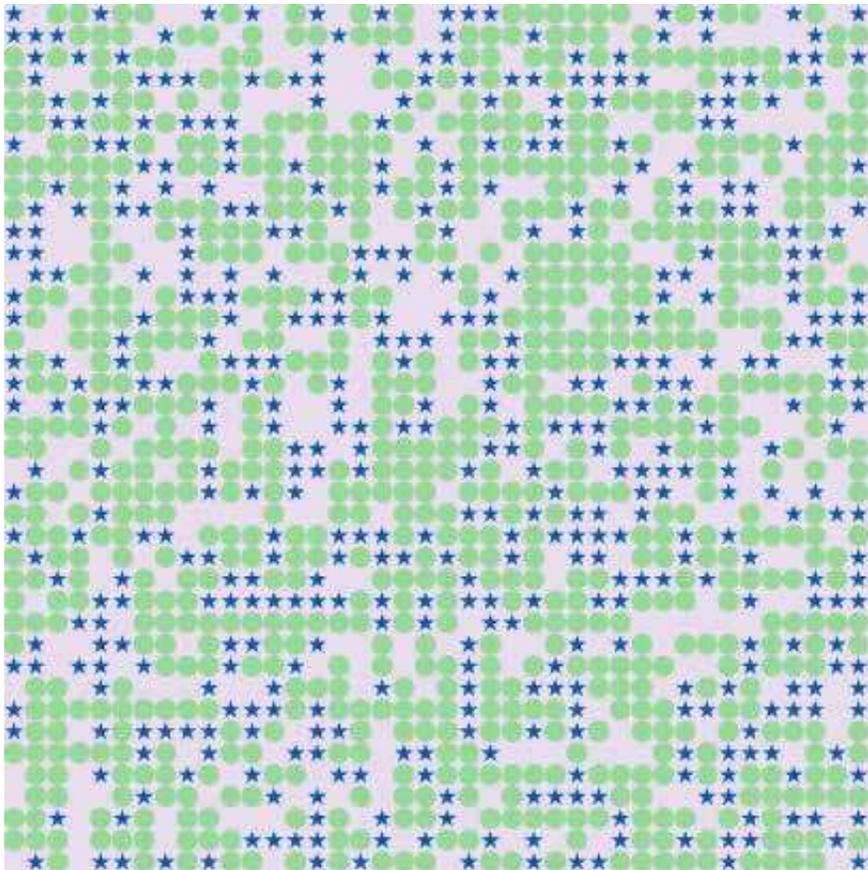
Legitimidad (L)	Rango de visión de agentes (ciudadanos y policías)	Densidad policías	Densidad ciudadanos	Tiempo máximo de cárcel
0	1	18% (288)	4% (64)	4 ticks
0.1	3	20% (320)	20% (320)	10 ticks
0.5	7	30% (480)	50% (800)	
1				

Dados los resultados de los experimentos, sólo se expondrán los casos para el tiempo máximo de cárcel 4 y 10, rango de visión 1 y 7, densidad de policías de 30% y ciudadanos de 50% (siendo 20% de espacios libres para el movimiento) y los cuatro valores de la legitimidad. Recordemos que el espacio donde se mueven los agentes es un toroide de dimensiones 40×40 , de modo que en total se tienen 1 600 celdas. De modo que, si se cuenta con 50% de ciudadanos y 30% de policías, se tienen entonces 800 y 480 ciudadanos y policías, respectivamente, con el resto de las celdas desocupadas para el movimiento de los agentes.

3.4.1. Legitimidad del gobierno $L = 1$

En una sociedad con alta legitimidad en el régimen ($L = 1$), es natural pensar que no se presentará la inconformidad de los ciudadanos sin importar el número de policías presentes para cumplir la ley o norma. Y esto es precisamente lo que sucede en el caso de $L = 1$ con las diversas combinaciones mencionadas con anterioridad. La Figura 3.3 muestra el estado inicial de la sociedad con $L = 1$, densidad de policías de 30% y densidad de ciudadanos de 50%. Como vemos, los ciudadanos están conformes con el régimen y su estado se representa por el color verde bajo, pues su nivel de queja Q_i es mínimo.

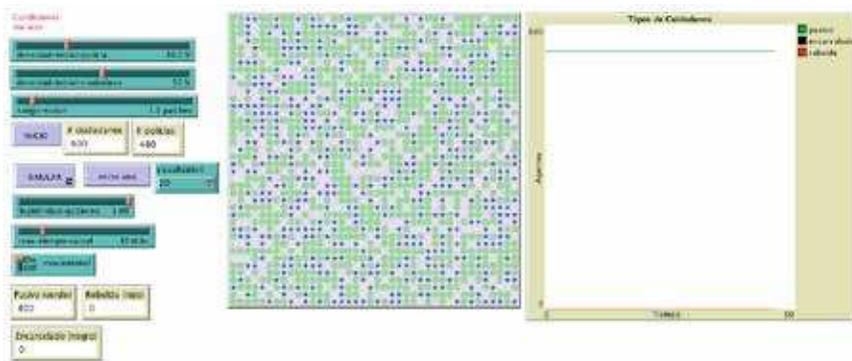
FIGURA 3.3
ESTADO INICIAL CON $L = 1$, DENSIDAD DE POLICÍAS 30%, DENSIDAD DE CIUDADANOS 50%.



Luego, por medio de la dinámica del modelo a partir de las reglas des finidas antes, se observa el comportamiento representado en la Figura

3.4. En esta imagen se observa toda la interface del modelo en NetLogo, donde se percibe que no hay agentes rebeldes ni encarcelados debido a la gran legitimidad que se tiene del gobierno. El mismo comportamiento se tiene sin importar el rango de visión ni el tiempo máximo de cárcel t_{max} .

FIGURA 3.4
SIMULACIÓN CON $L = 1$, DENSIDAD DE POLICÍAS 30%, DENSIDAD DE CIUDADANOS 50%

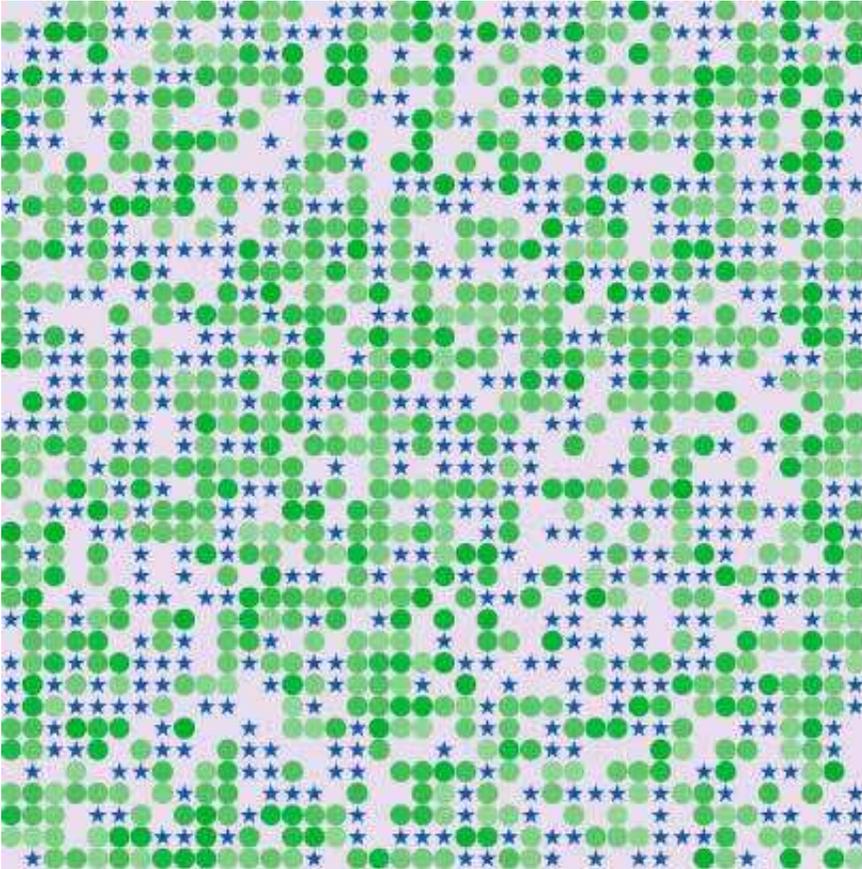


3.4.2. Legitimidad del gobierno $L = 0.5$

Supongamos ahora que la legitimidad del régimen es $L = 0.5$. El estado inicial de los ciudadanos respecto a la queja o reclamo varía a diferencia del caso anterior y esto se puede observar por medio de los diversos matices de verde que tienen los ciudadanos de la Figura 3.5.

FIGURA 3.5

ESTADO INICIAL CON $L = 0,5$, POLICÍAS 30%, CIUDADANOS 50%



Supongamos que el rango de visión de los agentes es 1, y que sólo cambiaremos el t_{max} de 4 a 10. Las gráficas de la Figura 3.6 muestran los resultados de la simulación para este caso. De aquí se observan diversos comportamientos de las sociedades: a menor t_{max} , no habrá tantos agentes encarcelados, lo cual, en caso de una queja baja, alentarán la aparición de agentes rebeldes (rojos), a diferencia de si estos agentes rebeldes permanecen más tiempo en la cárcel, ya que éstos, al estar encerrados, no contribuyen al surgimiento de rebeldes.

Al aumentar el rango de visión de los agentes, con las mismas condiciones mencionadas antes, se observa un resultado diferente al

SIMULACIÓN CON $L = 0,5$, POLICÍAS 30%, CIUDADANOS 50% Y RANGO DE VISIÓN 1

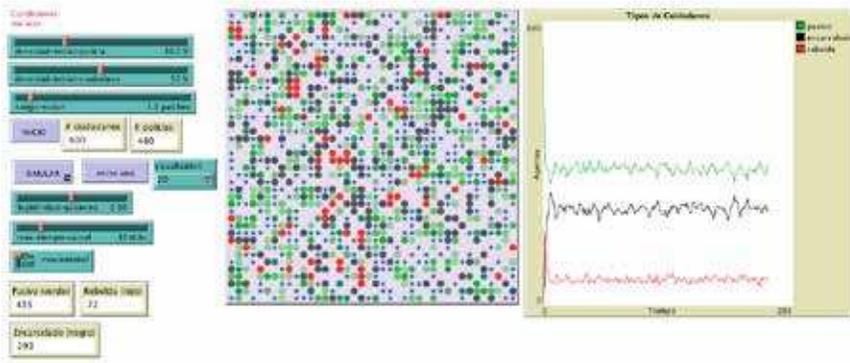


FIGURA 3.7.A

a) $t_{max} = 4$

SIMULACIÓN CON $L = 0,5$, POLICÍAS 30%, CIUDADANOS 50% Y RANGO DE VISIÓN 7

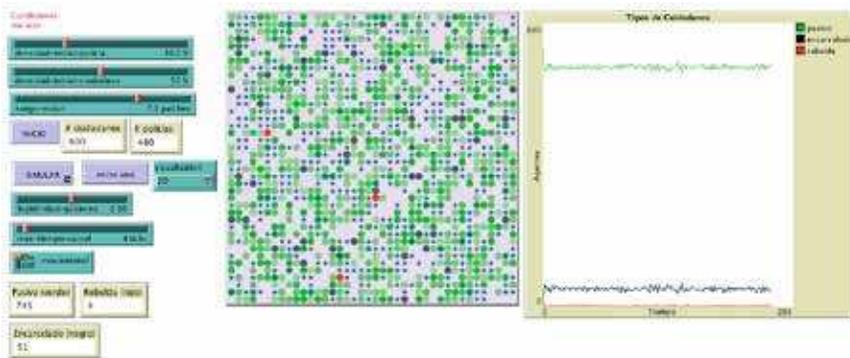


FIGURA 3.7.B

b) $t_{max} = 10$

capacidad para ejercer sus funciones. La Figura 3.10 muestra los resultados de la simulación en el caso del rango de visión 1 con $t_{max} = 4$ y 10. Como vemos, en ambos casos hay una presencia considerable de rebeldes y, dado el aumento en el t_{max} son más los agentes encarcelados. De nueva cuenta, la corta visión de los policías no permite encarcelar a todos los agentes rebeldes; y éstos, al ser liberados, se activan otra vez (Figura 3.10.a).

Quando el rango de visión aumente a 7, se ocasiona la ausencia de agentes rebeldes (rojos), siendo sólo diferente la cantidad de agentes encarcelados debido al t_{max} presente, pero en ambos casos se observa un porcentaje significativo de agentes pasivos, es decir, que los agentes son mitigados por la gran visión de los policías (Figura 3.11).

FIGURA 3.10.A
a) $t_{max} = 4$

SIMULACIÓN CON $L = 0.1$, POLICÍAS 30%, CIUDADANOS 50% Y RANGO DE VISION 7

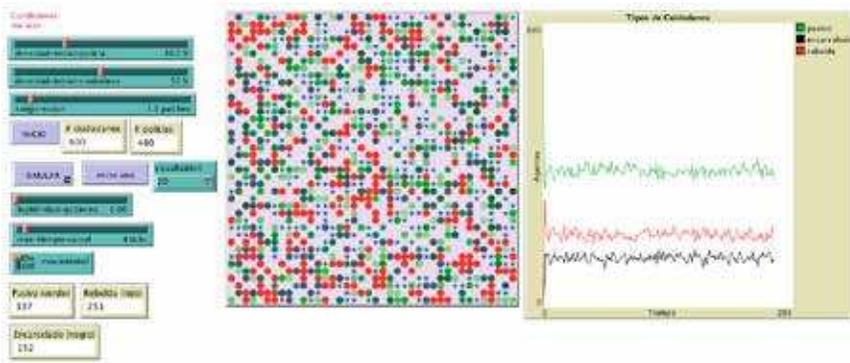
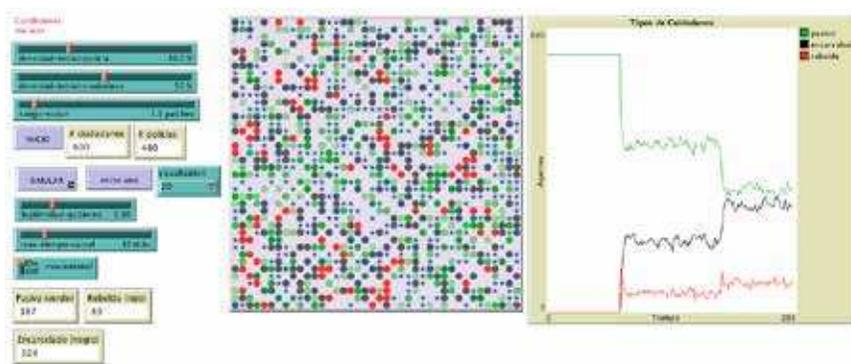


FIGURA 3.10.B
b) $t_{max} = 10$

SIMULACIÓN CON $L = 0.9, 0.7, 0.3$, POLICÍAS 30%, CIUDADANOS 50% Y
RANGO DE VISIÓN 1



3.5. INTERPRETACIÓN SOCIOPOLÍTICA DEL MODELO

El modelo de Epstein es interesante en el sentido de establecer un mecanismo basado en dos variables sociopolíticas que se pueden medir en la realidad. Esto es, la legitimidad que tiene un régimen político y, por ende, su capacidad de acción pública sin percibir oposición. Por otro lado, las privaciones que sufre la ciudadanía, ya sean éstas políticas o económicas, también son susceptibles de medirse en el mundo real. Asimismo, la capacidad de represión del régimen está dada por el número de policías presentes.

De los resultados del modelo podemos concluir que un régimen con baja legitimidad tenderá a tener unas fuerzas armadas y policiales grandes, capaces de reprimir adecuadamente a la población opositora al régimen. Un régimen con alta legitimidad tiende a ser aceptado pese a las privaciones políticas o económicas. Esto no indica que la población no tenga un componente de oposición, pero no existe motivación para rebelarse. Lo anterior es interesante de ver en la realidad.

Actualmente, en México existe una alta legitimidad del régimen político en el ámbito federal. Sin embargo, existe también una alta privación de derechos civiles causada por la descontrolada acción del crimen organizado, el cual desde hace más de dieciocho años ha estado en

abierta guerra contra el gobierno mexicano. Además, existe un miedo en la población a manifestarse tanto de forma pacífica como de forma violenta, lo que llevaría a que existieran pocas manifestaciones de resistencia al régimen.

Por otro lado, la reciente creación de la Guardia Nacional, con un estimado de doscientos mil integrantes en su fase final y de cincuenta mil en su fase inicial, prevé su uso como fuerza represiva ante manifestaciones de la ciudadanía que se consideren violentas. Esto, aunado a las fuerzas policiales actuales, más el ejército y la marina de guerra, crea una fuerza represiva sin precedentes en la historia mexicana. Si usamos estas condiciones iniciales en el modelo sugerido por Epstein, obtenemos un escenario complejo que es compatible con el autoritarismo. Esto es, un régimen con suficiente poder policiaco y militar para reprimir a su sociedad, lo cual disminuye los incentivos para la creación de políticas públicas que mitiguen las carencias sociopolíticas, ya que el régimen se siente seguro. Un régimen con baja capacidad de represión tenderá a mitigar las carencias sociopolíticas de la sociedad a la cual gobierna.

Estratégicamente hablando, existen dos comportamientos del gobierno que pueden realizarse; el primero es aumentar su legitimidad mediante políticas públicas y programas de gobierno que ataquen las carencias sociopolíticas, y la segunda estrategia es aumentar las capacidades de represión del gobierno.

El rango de visión del modelo de Epstein podemos interpretarlo como la capacidad de inteligencia que tiene el régimen para identificar a disidentes. Dicha capacidad de inteligencia se asocia a las agencias policíacas y militares encargadas de recabar información, muchas veces por medios ilegales, como el espionaje o las desapariciones forzadas, sobre la población disidente. Esta población, además, se debe sentir observada por el régimen y sus fuerzas represivas para incitar miedo, y por ende autorreprimirse para actuar de forma rebelde. Así, vemos que el modelo de Epstein en su sencillez es rico en interpretaciones que van más allá de considerarlo un modelo simple de disturbios urbanos.

CAPÍTULO 4

MODELO DE FORMACIÓN DE OPINIÓN PÚBLICA

4.1. MODELANDO LA OPINIÓN PÚBLICA

No resulta difícil inferir que la dinámica de acuerdo o desacuerdo entre individuos es compleja por lo complejo que son los individuos. Dada esta importante complejidad, ha crecido el interés por la aplicación de modelos y herramientas de sistemas complejos a diversos fenómenos sociales, lo cual ha dado origen a una área de estudio denominada sociofísica, la cual es una novedosa rama de la física interdisciplinaria que se ayuda del uso de métodos y conceptos de la física de sistemas complejos para el estudio de interacciones colectivas en sociedades (Galam, 2008; Gilbert y Conte, 1995; Hegselmann *et al.*, 1996; Axelrod, 1997; Axtell, 2000; Mantegna, 2006; Pimentel, 2008; Castellano *et al.*, 2009; Fiske *et al.*, 2010; Gershenson, 2013, 2015; Hernández-Rodríguez, 2012; Nemiche *et al.*, 2013; Laguna *et al.*, 2016).

Dentro de la sociofísica, el área que aborda estas complejidades se encuentra bajo el nombre de *dinámica de opinión* (Holyst *et al.*, 2001). Para formalizar el estudio de este problema, se han propuesto diferentes modelos de dinámica de opinión, los cuales son utilizados para explorar los procesos dinámicos de difusión y evolución de opiniones en la población humana. Las investigaciones sobre dinámica de opinión cubren una amplia gama de fenómenos sociales: surgimiento y popularidad de temas, difusión y conservación de la opinión de la minoría, toma de decisiones, formación de consenso, aparición de partidos políticos, propagación de rumores, surgimiento e influencia de extremistas, entre otros.

Existen diversos modelos de dinámica de opinión; entre los principales, se encuentran el modelo del votante, el modelo de Snzajd, el modelo de difusión (diseminación) cultural de Axelrod y el modelo de confianza acotada (Xia *et al.*, 2011). Los tres primeros se basan en representaciones discretas de la opinión, mientras que el de confianza acotada toma las opiniones como variables continuas.

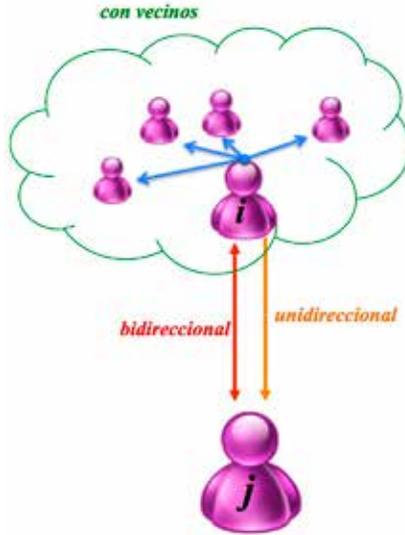
De manera natural, cada agente puede interactuar con cualquier otro agente en una sociedad o grupo social, sin importar cuáles son sus opiniones. Pero, en la práctica, hay una discusión real o diálogo sólo si las opiniones de las personas involucradas se encuentran suficientemente cerca una de la otra. Este aspecto realista de las comunicaciones humanas es lo que se denomina *confianza acotada*, y los modelos de confianza acotada captan precisamente esa característica: un agente no verá influenciada su opinión por otro agente si la diferencia de opinión de los dos agentes es mayor que un umbral dado o “límite de confianza” (Deffuant *et al.*, 2000; Hegselmann y Krause, 2002).

Imaginemos que un grupo de N agentes tienen la tarea de llegar a un acuerdo sobre un tema determinado. Inicialmente, todos los agentes tienen una opinión, que por simplicidad puede ser representada como un número real x . Durante el transcurso de la reunión, los agentes presentan sus opiniones al grupo, y a su vez modifican su propia opinión a la luz de las opiniones de los demás, de acuerdo con algún “peso”. Si todas las opiniones son iguales después de la *interacción*, se puede decir que el *consenso* se ha alcanzado; si no, se requiere otra ronda. Morris DeGroot (1974) demostró que este simple modelo de dinámica de opinión siempre llega a un consenso para cualquier peso positivo y fijo. Aunque el modelo es muy abstracto y claramente no es tan realista, este simple modelo se ha convertido en la base para posteriores análisis y modelos (Chatterjee y Seneta, 1977; Friedkin, 1999).

En los modelos de dinámica de opinión, los agentes y las relaciones de comunicación están representadas por medio de un *grafo* (Bondy y Murty, 1976). Las opiniones de los agentes toman valores en un conjunto *discreto* de números enteros $\{1, 2, \dots, q\}$ o en un intervalo *continuo* de números reales $[a, b] \subset \mathbb{R}$, asignándose aleatoriamente un número a cada agente. En función de las condiciones del modelo, la dinámica de interacción puede ser *por pares de agentes* (elegidos aleatoriamente)

o considerando para cada agente el conjunto de *agentes vecinos*. En el primer caso, se distinguen a la vez dos dinámicas: *unidireccional* y *bidireccional* (Figura 4.1).

FIGURA 4.1
REPRESENTACIÓN DE LA DINÁMICA DE INTERACCIÓN ENTRE AGENTES



Siempre que se cumplan las condiciones de actualización, en la dinámica bidireccional las variables del modelo son actualizadas para ambos agentes, mientras que en la dinámica unidireccional sólo se actualizan las variables del modelo de uno de los agentes. En este caso, en la pareja de agentes seleccionada, se establece a uno de ellos como el *agente activo* y al otro como *agente pasivo*, de manera que sólo se actualizan las variables del agente pasivo.

Una vez determinada la dinámica de interacción, la *dinámica de actualización* comienza a actuar, es decir, la aplicación de las ecuaciones del modelo; y los agentes reorganizan sus variables con base en el tipo de discusiones. En algún momento, el sistema alcanza una configuración que es estable bajo la dinámica; esta configuración final puede representar el *consenso* (todos los agentes comparten la misma opinión),

la *polarización* (con dos grupos principales de opiniones, por ejemplo, partidos políticos) o la *fragmentación* (sobreviven varios grupos de opinión). Resumiendo, los modelos de dinámica de opinión poseen cuatro elementos esenciales:

- *Espacio de opinión*. Es la representación numérica de las opiniones en un conjunto discreto o continuo, unidimensional o multidimensional. Para un agente i , el valor de su opinión se representa como x_i .
- *Dinámica de interacción*. Definida como las reglas locales que rigen la manera como un agente afecta y se ve afectado por sus agentes vecinos. Esta dinámica puede ser por pares de agentes o con vecinos de agentes:
 - Por pares de agentes:
 - Unidireccional (pasivo, activo)
 - Bidireccional
 - Con agentes vecinos.
- *Dinámica de actualización*. La representación matemática de la dinámica de las variables del modelo, es decir, las ecuaciones que describen la dinámica de las variables del modelo.
- *Red social*. La estructura del ambiente en que los agentes se relacionan uno con el otro representada mediante una estructura matemática llamada grafo (Bondy y Murty, 1976).

Con esto, los modelos de dinámica de opinión describen *el proceso de formación de opinión pública*, ya que:

1. La opinión inicial del sistema se relaciona con algún tema o problema definido por los agentes de la sociedad.
2. Por medio de las vías de comunicación de los agentes de una sociedad, representados por las aristas de la red, se inician las charlas o debates.
3. Considerando los valores racionales y emocionales de los agentes, definidos mediante las variables del modelo (opinión, incertidumbre, etc.), los agentes están dispuestos a una toma de decisiones.

4. De los tres pasos anteriores, los agentes alcanzan cierto grado de consenso, es decir, surgen los grupos de opinión.

A continuación, se definen elementos y propiedades del modelo de dinámica de opinión presentado por Abrica-Jacinto *et al.* (2017).

4.2. DEFINICIÓN Y PROPIEDADES DEL MODELO DE OPINIÓN PÚBLICA

Supongamos una sociedad de N agentes $\{1, 2, \dots, N\}$. Para cada agente i , se definen dos variables: opinión e incertidumbre; denotándolas como $x_i(t)$ y $u_i(t)$, respectivamente, es decir, la opinión e incertidumbre del agente en el momento t . La incertidumbre u_i suele interpretarse como la tolerancia del agente i a las opiniones de otros agentes con los que interactúa, o como la *convicción* del agente.

El conjunto de valores que toma la variable opinión x_i es el intervalo cerrado $[-1, 1]$, mientras que para la incertidumbre u_i es el intervalo $[U - 0.15, U + 0.15]$, donde U representa la incertidumbre media inicial, con $0 < U < 1$, en general. El *segmento de opinión* de cada agente i se define como el subintervalo cerrado $s_i = [x_i - u_i, x_i + u_i]$. El *traslape de opinión* de los segmentos s_i y s_j se define como:

ECUACIÓN 4.1

$$h_{ij} = \min \{x_i + u_i, x_j + u_j\} - \max \{x_i - u_i, x_j - u_j\}$$

FIGURA 4.2

TRASLAPE DE OPINIÓN H_{ij} .



Donde $\min \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ denota el número más pequeño del conjunto $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ y $\max \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ denota el número más grande del mismo conjunto. A partir de la definición de traslape, es claro observar

que el traslape de opinión es simétrico, es decir, $h_{ij} = h_{ji}$. También, que $h_{ij} \geq 0$ siempre que se intercepten los segmentos de opinión; y en caso contrario, $h_{ij} \leq 0$.

Como hemos mencionado, el acuerdo es uno de los aspectos más importantes para resolver o realizar algún tipo de pacto. Una manera de cuantificar la “fuerza” del acuerdo entre pares de agentes es por medio del traslape. Por ejemplo, se define el *acuerdo del agente i con j* como la intersección de s_i y s_j menos la parte en que no se intersectan $2u_i - h_{ij}$ con respecto al agente i , siendo su valor $h_i - (2u_i - h_{ij}) = 2(h_{ij} - u_i)$.

Para conocer el grado de “influencia social” de una gente i sobre otro agente j , se define el *acuerdo relativo del agente i con j* como el acuerdo dividido por la longitud del segmento de opinión del agente i , es decir, $\frac{2(h_{ij} - u_i)}{2u_i} = \frac{h_{ij}}{u_i} - 1$. Por lo general, este acuerdo relativo no es simétrico, ya que los agentes pueden tener diferente incertidumbre u_i y u_j . En este modelo, se define un acuerdo relativo para los C-agentes y otro para los AP-agentes, característica que será definida más adelante:

ECUACIÓN 4.2.A

ACUERDO RELATIVO C-AGENTES

$$\frac{h_{ij}}{u_i}$$

ECUACIÓN 4.2.B

ACUERDO RELATIVO AP-AGENTES

$$\frac{h_{ij}}{2u_i} \left[\frac{h_{ij}}{u_i} \right] - 1$$

Como se mencionó, una ideología es un conjunto de ideas fundamentales sobre la transformación o preservación de una sociedad en relación con una variedad de asuntos sociales, económicos, políticos, científico, tecnológicos y culturales, los cuales suelen relacionarse entre sí. Dado que una parte sustancial de la ideología es la *afinidad* de un individuo

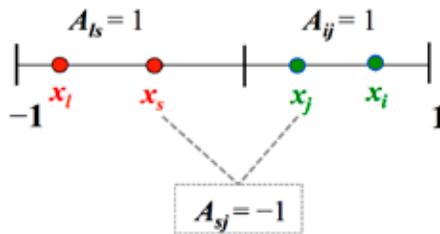
con su visión de grupo social expresada mediante la opinión, definimos la *afinidad ideológica entre agentes i y j* como:

ECUACIÓN 4.3

$$A_{ij} = \begin{cases} +1 & \text{si } x_i \cdot x_j > 0 \\ -1 & \text{si } x_i \cdot x_j < 0 \end{cases}$$

La Figura 4.3 muestra el valor de la afinidad entre dos agentes según donde este la opinión de tales agentes: $x < 0$ o $x > 0$. En el caso de que ambas opiniones tengan el mismo signo, es decir, $sgn(x_j) = sgn(x_i) = +1$ o $sgn(x_j) = sgn(x_i) = -1$, se dice, pertenecen al mismo *grupo ideológico de opinión*. Este modelo considera, entonces, dos ideologías en una sociedad: aquella para los cuales la opinión de los agentes cumple con $x_i < 0$ (izquierdistas) y otra con $x_i > 0$ (derechistas).

FIGURA 4.3
AFINIDAD ENTRE PARES DE AGENTES



En el caso de que $x_i = 0$ o $x_j = 0$, se asignan valores $\alpha, \beta \in [-0.01, 0.001]$ tales que $x_i = \alpha$ y $x_j = \beta$, con ello, de nuevo se calcula el valor de A_{ij} , con lo que se evita una “indecisión ideológica”. Es decir, un agente cuya opinión $x_i = 0$ puede ser afín a cualquier agente j , sin considerar el pensamiento ideológico de éste y qué tan lejanos son en sus opiniones. Esto no es tan apropiado en las sociedades, y menos aún cuando se tiene la interacción por parejas de agentes: al interactuar dos agentes, pueden ser afines al tema o no, o “casi sí” o “casi no”. En general, cada agente

posee fuerzas o pensamientos que lo hacen ser afín con algún tipo de persona en menor o mayor medida.

En este modelo de dinámica de opinión con afinidad, también se considera la *psicología* que puedan tener los agentes, además de la opinión e incertidumbre. Por simplicidad, se han considerado sólo dos tipos psicológicos de agentes: concordia (*C-agentes*) y antagonismo parcial (*AP-agentes*). La manera estructural de diferenciar a un C-agente de un AP-agente es realizando una partición de la sociedad en dos subconjuntos disjuntos, S_C y S_{AP} , de tamaños pN y $(1 - p)N$, donde N es número total de agentes en la sociedad y $0 \leq p \leq 1$. Por ejemplo, la Figura 2.3.b representa una sociedad (grafo) con $N = 44$ agentes (nodos), donde los nodos verdes representan a los agentes de concordia (C-agentes) y el resto a los agentes de antagonismo parcial (AP-agentes, nodos rojos).

El modelo C-AP con afinidad considera una dinámica de interacción del tipo unidireccional. En cada paso de tiempo, se eligen de manera aleatoria, aristas de la red. Para cada arista, se asigna a uno de los nodos la etiqueta de agente pasivo y al otro de agente activo. Con esto se hace una identificación para la actualización unidireccional, siendo el agente pasivo el influenciado, en caso de ser así.

Las reglas de actualización dependen del perfil psicológico del agente pasivo: si $h_{ij}(t) \geq 0$, las reglas de actualización de la opinión e incertidumbre para el agente pasivo j están definidas en las ecuaciones 4.4 y 4.5. Si $h_{ij}(t) \leq 0$, no hay cambio en la opinión del agente.

- Si j es C-agente,

ECUACIÓN 4.4.A

$$x_j(t + 1) = x_j(t) + \frac{1}{2} \cdot A_{ij}(t) \cdot \frac{h_{ij}}{u_i} [x_i(t) - x_j(j)]$$

ECUACIÓN 4.4.B

$$u_j(t + 1) = u_j(t) + \frac{1}{2} \cdot \frac{h_{ij}}{u_i} [u_i(t) - u_j(j)]$$

- Si j es AP-agente,

ECUACIÓN 4.5.A

$$x_j(t + 1) = x_j(t) + \frac{1}{2} \cdot A_{ij}(t) \cdot \frac{h_{ij}}{2u_i} \left[\frac{h_{ij}}{u_i} - 1 \right] [x_i(t) - x_j(j)]$$

ECUACIÓN 4.5.B

$$u_j(t + 1) = u_j(t) + \frac{1}{2} \cdot \frac{h_{ij}}{2u_i} \left[\frac{h_{ij}}{u_i} - 1 \right] [u_i(t) - u_j(j)]$$

Por medio de las ecuaciones 4.4, si la sociedad está compuesta por C-agentes se cumple que $sgn(x_j(t + 1)) = sgn(x_j(t))$. Es decir, los agentes de concordia tienen un proceso de congruencia ideológica, esto es, pertenecen al mismo grupo ideológico de opinión (Figuras 4.9a y 4.10b). Por otro lado, en el comportamiento del acuerdo relativo de los AP-agentes (ecuación 4.2b), no es tan obvio el hecho de que para un AP-agente j con $sgn(x_j(t)) = 1$. (o -1), se cumpla que $sgn(x_j(t + 1)) = 1$, (o -1). Es decir, si en un paso de tiempo un AP-agente pertenece a cierto grupo ideológico, en el siguiente paso de tiempo sigue en el mismo grupo. De hecho, el cambio de un grupo ideológico a otro depende del valor absoluto de $(h_{ij} / 2u_i)[(h_{ij} / u_i) - 1]$ (Figuras 4.12b y 4.13b).

4.3. PROTOCOLO ODD DEL MODELO DE OPINIÓN

El protocolo ODD es una metodología para describir de manera formal los sistemas o modelos basados en agentes mediante un lenguaje verbal y una descripción matemática de las relaciones, reglas y programas que son parte del modelo. Con esto, cada modelo propuesto puede ser fácilmente replicable y así se verifica la validez de él. En este caso, se elabora el protocolo del modelo C-AP con afinidad ideológica con el objetivo de presentar su estructura general tanto verbal como matemáticamente. Para comprender la manera en que se llevó a cabo el proceso, tenemos las siguientes definiciones.

Definición. Una *sociedad* es una red (grafo) que representa el sistema social, junto con la asignación de tipo psicológico de cada agente.

Definición. Un *escenario particular* se compone de los siguientes elementos:

- Una sociedad junto con la distribución fija del perfil psicológico de los agentes.
- Una distribución inicial de las opiniones de los agentes.
- Una distribución inicial de la incertidumbre de los agentes.

De modo que cada sociedad se distinguirá por medio del parámetro $0 \leq p \leq 1$, que nos da la proporción de C-agentes y AP-agentes en la sociedad. Una sociedad de C-agentes es aquella para la cual $p = 1$, una sociedad de AP-agentes es con $p = 0$, y una sociedad mixta es para $0 < p < 1$. Para los experimentos realizados, el escenario particular esta caracterizado por:

1. Una red (fija) de $N = 1\ 000$ nodos con topología de mundo pequeño, siguiendo el modelo de Watts-Strogatz donde cada nodo tiene grado promedio de $\langle k \rangle = 40$ y probabilidad de reconexión $\beta = 0.25$ (Watts y Strogatz, 1998; Boccaro, 2010).
2. En el tiempo inicial $t = 0$, se tiene una distribución uniforme de las opiniones x_i sobre el intervalo $[-1, 1]$.
3. También, en el tiempo inicial $t = 0$ se tiene una distribución uniforme de las incertidumbres u_i de los agentes, sobre el intervalo $[U - 0.15, U + 0.15]$, con $U = 0.2$ y 0.5 .

A continuación, se describe el protocolo ODD del modelo C-AP con afinidad ideológica (Abrica-Jacinto *et al.*, 2017).

4.3.1. *Visión general*

1. Propósito: Modelar y simular las opiniones de los agentes en un escenario particular artificial, con el objetivo de entender y reconocer las condiciones para que la sociedad alcance el consenso, polarización o fragmentación. Este modelo se caracteriza por considerar el perfil psicológico de los agentes, la incertidumbre media inicial de la sociedad y la afinidad ideológica.

2. Entidades, variables de estado y variables de escala: Se tienen entidades individuales para los agentes (C-agentes, AP-agentes). Entidades globales como la topología de red, la proporción de C y AP-agentes y la incertidumbre media inicial de la sociedad. La unidad espacial está representada por las aristas de la red. Las variables de estado para los agentes son la opinión x_i , la incertidumbre u_i , el perfil psicológico (C- o AP-agente) y la afinidad ideológica. Las variables de estado para la sociedad son la incertidumbre media inicial (U) y la proporción de C- y AP-agentes (p). La escala de tiempo es en pasos discretos. La escala espacial es la red de mundo pequeño (Watts y Strogatz, 1998; Boccaro, 2010) de grado promedio $\langle k \rangle = 40$. La escala del perfil psicológico: {1, 2}, donde 1 identifica a los C-agentes y 2 a los AP-agentes. La distribución del perfil es con $p = 0, 0.5$ y 1. La escala de las opiniones e incertidumbres de los agentes son $x_i \in [-1, 1]$ y $u_i \in [U - 0.15, U + 0.15]$. La escala de la incertidumbre media inicial U son los valores 0.2 y 0.5. La escala de la afinidad ideológica es el conjunto $\{-1, +1\}$.

3. Visión general de los procesos y programación: Ésta se compone de las siguientes partes.

- **Procesos**
 - *Proceso 1:* Condiciones del escenario articular

- Crear el escenario particular, una red de mundo pequeño con $N = 1\ 000$ agentes y grado promedio $\langle k \rangle = 40$.
 - Distribución uniforme del perfil psicológico.
 - Valor de incertidumbre media inicial U .
 - Distribución uniforme inicial de la opinión $x_i \in [-1, 1]$.
 - Distribución uniforme inicial de la incertidumbre de los agentes $u_i \in [U - 0.15, U + 0.15]$.
 - *Proceso 2:*
 - Se eligen N aristas al azar.
 - Para cada arista, se elige de manera aleatoria el nodo que representará al agente pasivo j y al agente activo i .
 - *Proceso 3:*
 - Calcular el valor del traslape h_{ij} .
 - Aplicar, en caso de ser así, el procedimiento de ajuste de afinidad ideológica: si las opiniones de los agentes x_i o x_j son cero, entonces se elige un número aleatorio, diferente de cero, en el intervalo $[-0.01, 0.01]$.
 - Si el traslape $h_{ij} \geq 0$, se actualiza la opinión x_j e incertidumbre u_j del agente pasivo según el perfil psicológico del agente j .
- **Descripción general de la programación:** Se utilizó el *software* MatLab. Para cada escenario particular, valor de p y distribución del perfil psicológico de los agentes, se planta la semilla para generar números aleatorios con base en los datos de fecha y hora en que se está corriendo el programa. Luego, se cargan los archivos de datos de las aristas de la red (matriz de $2 \times 20\ 000$), de la distribución inicial de la opinión y de la distribución inicial de la incertidumbre de los agentes de acuerdo con el valor de U correspondiente. En cada paso de tiempo $t = 1 \dots 599$, se eligen de manera aleatoria N aristas de la red y se asignan al azar el agente pasivo y el activo para cada arista. Si

se cumplen las condiciones de actualización, se actualizan la opinión y la incertidumbre del agente pasivo, de acuerdo con su perfil psicológico. Los valores de la opinión x_i de los agentes se mantienen dentro del espacio de opinión $[-1, 1]$, y asimismo los valores de la incertidumbre u_i en el intervalo $[0.05, 1]$.

- **Especificaciones de la programación y los procesos en ella:** Para cada valor de p y U , se trabaja sobre el mismo tipo de escenario social, de manera que la aleatoriedad se encuentra en la selección de aristas de la red y en la asignación de agente pasivo y activo, es decir, en el caso de escenarios particulares, la aleatoriedad se encuentra en la dinámica de interacción del modelo de dinámica de opinión. La actualización en la dinámica del sistema es asincrónica “múltiple”, es decir, el nuevo valor de opinión e incertidumbre se asigna de inmediato y con una muy pequeña probabilidad un agente pasivo puede ser influenciado varias veces en una misma iteración.
- **Diagrama de flujo del código:** véase la Figura 4.4.

4. Conceptos del diseño (Design concepts)

- **Principios básicos.** La disciplina de las ciencias sociales que fundamentan los modelos de dinámica de opinión es la psicología social, mediante diversas teorías (véase el Apéndice A).
 - *Teoría de la influencia social:* Se representa en el modelo mediante la formación de grupos de opinión, es decir, en la distribución final de la opinión. Pues de iniciarse con un sistema homogéneo en la distribución de la opinión, dadas las reglas de interacción y actualización, se observarán grupos de consenso ideológicos, grupos extremistas de agentes o diversos grupos de opinión.
 - *Teoría de la identidad social:* Se presenta en el modelo como la afinidad ideológica de los agentes.
 - *Teoría del juicio social:* El concepto de acuerdo relativo del modelo está en relación con la teoría del juicio social.
 - *Teoría del impacto social:* El concepto y fórmulas de acuerdo relativo para los C- y AP-agentes se dirigen a influenciar

al agente; tal influencia se da a partir de la definición del traslape de opinión y de la incertidumbre del agente influenciador.

- **Emergencia:** Surgen grupos de opinión, es decir, agrupaciones en la distribución final de la opinión. Se presenta el consenso ideológico y aparecen grupos de extremistas.
- **Objetivos:** Los agentes activos tienen el objetivo de “influnciar” al agente pasivo, y éste actuará según su perfil psicológico.
- **Detección:** La detección se realiza a nivel local, entre pares de agentes. Los agentes se detectan el uno al otro por medio de las aristas de la red, que son las vías de comunicación.
- **Interacción:** La interacción o dinámica de interacción es por pares de agentes seleccionados al azar, con actualización unidireccional.
- **Aleatoriedad:** En la selección de las aristas de la red y en la asignación de agente pasivo-activo.
- **Colectivos:** Se tienen dos tipos de colectivos, el colectivo de afinidad ideológica (pertenencia a un grupo ideológico) y el colectivo del perfil psicológico.
- **Observación:** Gráfica de evolución temporal de la opinión e incertidumbre de los agentes. Gráfica de distribución de la opinión (histograma) en el espacio $[-1, 1]$ en función del tiempo.

4.3.2. *Detalles* (Details)

5. **Inicialización:** Se inicia con los datos que definen el *escenario particular* de la sociedad y los agentes.

6. **Datos de entrada:** Los datos de entrada para la simulación del modelo constan de cuatro tipos de archivos en específico:

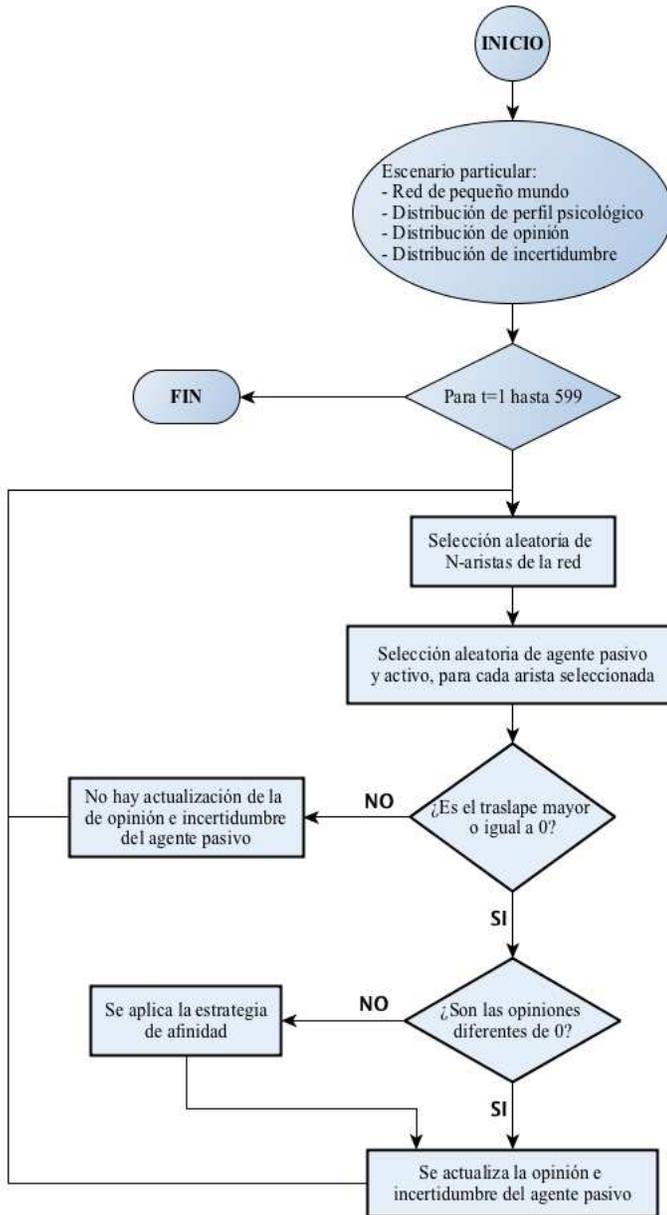
- Aristas de la red: arreglo matricial de tamaño $2 \times M$, con $M = 20\ 000$ aristas de la red.

- Distribución del perfil psicológico: arreglo matricial de tamaño $1 \times N$, con $N = 1\,000$ agentes con entradas de 1 y 2, siendo “1” la etiqueta para los C-agentes y “2” para los AP-agentes.
- Distribución inicial de la opinión de los agentes: arreglo matricial de tamaño $1 \times N$, donde cada entrada es un valor en el intervalo $[-1, 1]$.
- Distribución inicial de la incertidumbre: arreglo matricial de tamaño $1 \times N$, donde cada entrada es un valor en el intervalo $[U - 0.15, U + 0.15]$, con $U = 0.2$ y 0.5 .

7. Submodelos: El modelo C-AP con afinidad ideológica estudia el efecto que tiene la afinidad en la distribución de la opinión en una sociedad artificial caracterizada por ser de mundo pequeño y donde los agentes poseen un perfil psicológico e incertidumbres a la opinión de sus interlocutores. Los parámetros del modelo son la proporción de C-agentes (p) en la sociedad y el valor de la incertidumbre media inicial de la sociedad (U). Los submodelos o ecuaciones se definen tanto para los agentes de concordia como para los agentes de antagonismo parcial. Las ecuaciones para la actualización de la opinión se dan en función de la opinión del agente en el tiempo anterior, el acuerdo relativo –según el perfil psicológico– y la afinidad ideológica. Las ecuaciones de la incertidumbre están en función de la incertidumbre anterior y el acuerdo relativo, según el perfil psicológico. Cada una de ellas describirá la opinión e incertidumbre de los agentes influenciados; véanse las Ecuaciones 4.1 a 4.5.

FIGURA 4.4

DIAGRAMA DE FLUJO DEL MODELO C-AP CON AFINIDAD IDEOLÓGICA



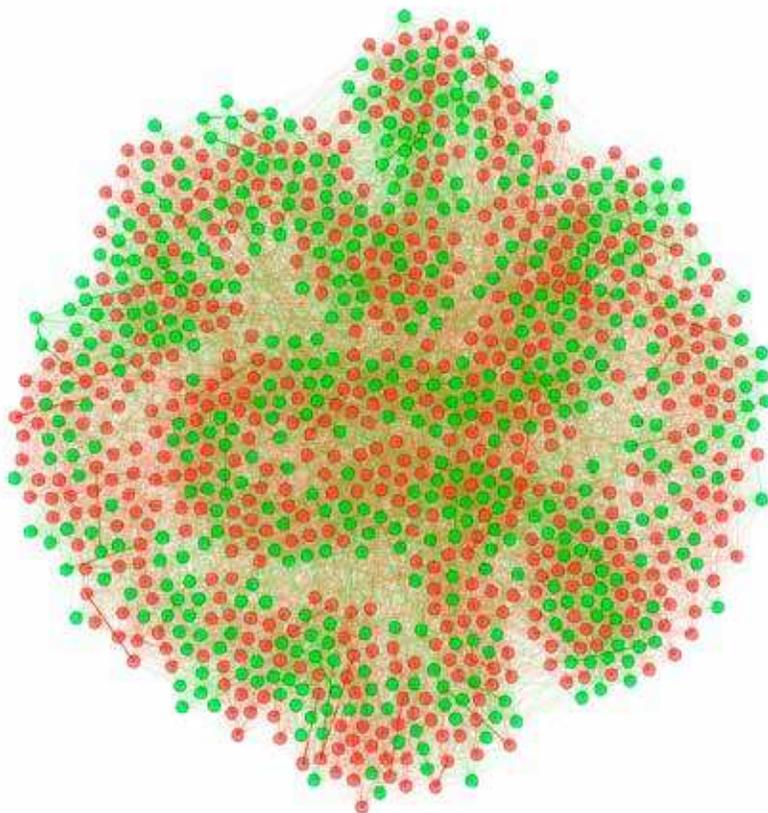
4.4. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

Las reglas de actualización del modelo C-AP con afinidad ideológica son deterministas, pero la dinámica de actualización es de tipo estocástico. Para estudiar este modelo, se usa la simulación computacional basada en agentes, presentando la evolución temporal de la opinión e incertidumbre y la gráfica de evolución del histograma de opinión. Se analizan los casos para las sociedades de C-agentes ($p = 1$), de AP-agentes ($p = 0$) y sociedad mixta ($p = 0.5$) para diferentes valores de la incertidumbre media inicial ($U = 0.2, 0.5$). Por ejemplo, la Figura 4.5 muestra la red de mundo pequeño que se utiliza en el caso de la sociedad mixta ($p = 0.5$).

Las opiniones se mantienen dentro del espacio de opinión $[-1, 1]$, es decir, si $x_j > 0$ o $x_j < -1$, entonces se igualan las opiniones a 1 o -1 , respectivamente. También, limitamos los valores de la incertidumbre u_i de los agentes al intervalo $[0.05, 1]$, por dos razones. La primera de ellas es para que el factor h_{ij} / u_i en las ecuaciones del modelo esté bien definido. La otra razón es evitar un estado de “apatía social”. Es decir, el estado de $u_j = 0$ se interpreta como agentes poco expresivos en la sociedad, ya que no están dispuestos a dialogar con otros agentes, con los cuales se conectan en la red. Tales agentes son considerados como “apáticos” o “cerrados socialmente”, pues no responden o no admiten la discusión con otros agentes.

FIGURA 4.5

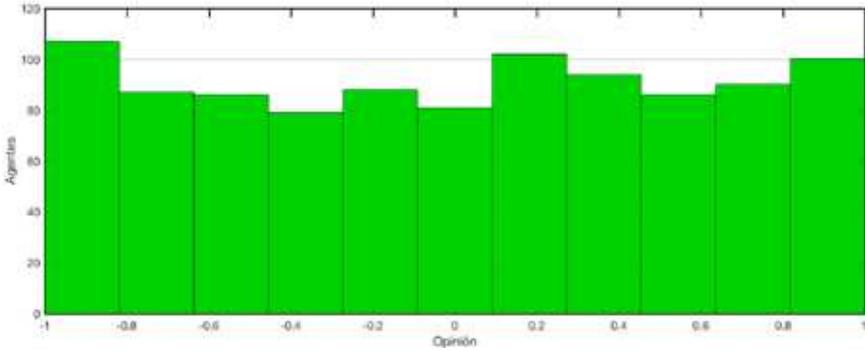
RED DE MUNDO PEQUEÑO: SOCIEDAD DE $N = 1\,000$ AGENTES, $\langle K \rangle = 40$ Y
50% DE C-AGENTES (NODOS VERDES)



La Figura 4.6 muestra la distribución inicial de la opinión; para ello, se hace un histograma mostrando la manera en que se distribuye la opinión en la sociedad. Este histograma consta de 11 subintervalos en el espacio de opinión $[-1, 1]$, que muestran el tamaño de cada grupo de opinión dentro de los subintervalos $[-1, -0.81)$, $[-0.81, -0.63)$, $[-0.63, -0.45)$, $[-0.45, -0.27)$, $[-0.27, -0.09)$, $[-0.09, 0.09)$, $[0.09, 0.27)$, $[0.27, 0.45)$, $[0.45, 0.63)$, $[0.63, 0.81)$ y $[0.81, 1]$.

FIGURA 4.6

DISTRIBUCIÓN INICIAL DE LA OPINIÓN EN LA SOCIEDAD ARTIFICIAL DE
MUNDO PEQUEÑO



Como se mencionó con anterioridad, este modelo considera la variable incertidumbre, y con ella se definen los segmentos de opinión de cada agente. Una de las condiciones para la dinámica de actualización de la opinión e incertidumbre de los agentes es que el traslape de opinión sea mayor o igual a cero, es decir, que exista intersección entre los segmentos de opinión. Así, además de estar conectados los agentes en la red, también se considera la presencia de un “nexo” en términos de la opinión entre los pares de agentes. Por ejemplo, para la sociedad artificial de mundo pequeño que se considera en este modelo, las gráficas de la Figura 4.7 muestran cómo son los segmentos de opinión $s_i = [x_i - u_i, x_i + u_i]$ de 50 agentes, seleccionados al azar y conectados en la red, con $U = 0.2$ y $U = 0.5$.

FIGURA 4.7.A

a) $U = 0.2$

DISTRIBUCIÓN DE ALGUNOS SEGMENTOS DE OPINIÓN

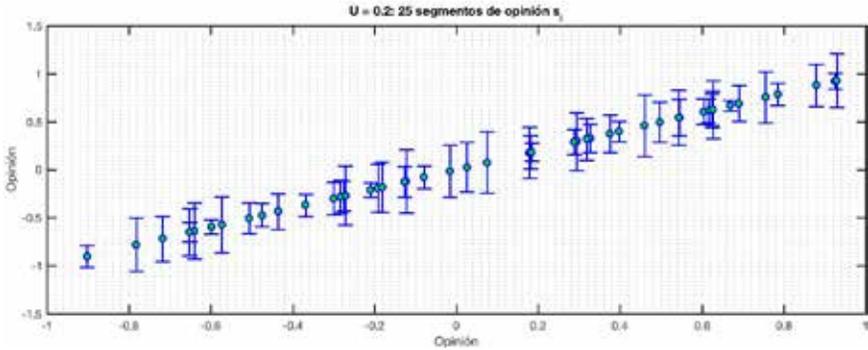
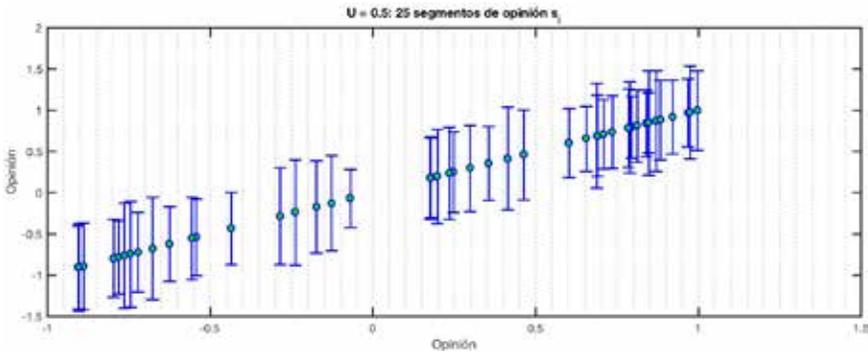


FIGURA 4.7.B

a) $U = 0.5$

DISTRIBUCIÓN DE ALGUNOS SEGMENTOS DE OPINIÓN SI CON INCERTIDUMBRE MEDIA INICIAL $U = 0.5$



Los resultados se presentan en función de $U = 0.2$ y 0.5 , variando la proporción de C-agentes en la sociedad con $p = 1, 0.5$ y 0 . Se muestran los resultados mediante diversas gráficas:

- Gráficas *de evolución temporal de la incertidumbre*. Se representa por medio de un gráfico en el plano euclidiano donde el eje horizontal representa los pasos de tiempo discretos ($t = 0$ hasta

$t = 599$), el eje vertical representa el espacio de incertidumbre y cada línea muestra los valores de la incertidumbre de un agente. De manera que, en estos gráficos, se tienen N líneas.

- Gráficas de *evolución temporal de la opinión*. Gráfico en el plano euclidiano, donde el eje horizontal representa los pasos de tiempo discretos ($t \in [0, 599]$), el eje vertical representa el espacio de opinión $[-1, 1]$ y cada línea del gráfico representa a un agente.
- *Histograma de distribución de la opinión*. Este tipo de gráfico permite observar la preferencia o tendencia de la opinión en la sociedad; es un histograma con 11 subintervalos.

Consideraremos *grupos de opinión representativos* a aquellos que cuenten con más del 5% de agentes de la sociedad. En este caso, el tamaño de la sociedad es de $N = 1\ 000$; por tanto, se tomarán en cuenta aquellos grupos con más de 50 agentes.

4.4.1. Sociedad de incertidumbre media inicial $U = 0.2$

En el caso de una sociedad artificial de mundo pequeño con incertidumbre media inicial de $U = 0.2$, los segmentos de opinión de los agentes son “pequeños”, como se muestra en la Figura 4.7. Con el aumento de AP-agentes en la sociedad, la incertidumbre converge a valores por debajo de la media inicial. Por ejemplo, para una sociedad de C-agentes, la incertidumbre converge a dos valores representativos, $u = 0.118$ y $u = 0.145$, con 409 y 452 agentes, respectivamente (Figura 4.8.a). Para una sociedad con el 50% de AP-agentes, la incertidumbre converge a dos valores, $u = 0.064$ y $u = 0.093$, con 768 y 228 agentes (Figura 4.8.b). En una sociedad de AP-agentes, la incertidumbre converge a un solo valor, $u = 0.064$, con 984 agentes (Figura 4.8.c). Cabe señalar que en estas gráficas sólo se muestra la convergencia en la evolución de la incertidumbre, y los datos mencionados son extraídos con comandos de MatLab, a partir de estas gráficas.

Como se observa, el aumento de AP-agentes disminuye los valores de convergencia de la incertidumbre; con ello, los segmentos de opinión

serán cada vez más reducidos, siendo poco probable la dinámica de actualización de la opinión entre los agentes. Es decir, aumentarán los grupos de opinión. Este comportamiento se observa precisamente en las gráficas de la Figura 4.9, que muestran la evolución de la opinión y el histograma de opinión.

En la Figura 4.9 se percibe cómo el aumento de los AP-agentes en la sociedad causa el aumento en el número de grupos de opinión, y con ello la disminución de agentes en cada grupo. En el caso de una sociedad de concordia, se tienen dos grupos de opinión representativos con valores en ± 0.546 , con 447 y 487 agentes, siendo el grupo “derechista” el mayor en esta simulación. Luego, en una sociedad homogénea psicológicamente, donde ($p = 0.5$), se formaron siete grupos de opinión representativos. Finalmente, en una sociedad de antagonismo parcial, ($p = 0$), la opinión de la sociedad queda distribuida en diez grupos de opinión. Por tanto, en el caso de una incertidumbre media inicial con valor de $U = 0.2$, el aumento en la presencia o proporción de AP-agentes produce un mayor número de grupos de opinión, es decir, la sociedad se convierte en una pluralidad de opiniones. Otra característica que emerge es la simetría en la distribución de la opinión, alrededor del 0, lo cual es más notorio en las sociedades de C-agentes. Esto se debe precisamente al factor de la afinidad ideológica A_{ij} en las ecuaciones de actualización de la opinión. Cabe señalar que el número exacto de grupos de opinión depende de la simulación, pero se tiene una tendencia al aumento en el número de grupos de opinión en función de la proporción de AP-agentes.

En resumen, en el caso de una sociedad de baja incertidumbre media inicial, es decir, sociedades en las cuales los agentes son cerrados a dialogar con sus pares, la disminución de agentes con perfil psicológico de concordia (C-agentes) origina:

- Convergencia de la incertidumbre a valores por debajo de la media inicial, siendo entonces la sociedad aun más cerrada para dialogar, aun dentro de cada grupo ideológico.
- El pequeño valor de la incertidumbre de los agentes evita el diálogo de éstos con aquellos que pertenecen a un diferente grupo ideológico

- El aumento en la presencia de AP-agentes conlleva a un mayor fraccionamiento de la opinión.
- En las sociedades de AP-agentes, surge la presencia de grupos de opinión extrema ($x \approx \pm 1$).

FIGURA 4.8.A

a) $p = 1$ (sociedad de C-agentes)

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA INCERTIDUMBRE CON $U = 0.2$ Y DIVERSAS
COMPOSICIONES PSICOLÓGICAS DE LA SOCIEDAD

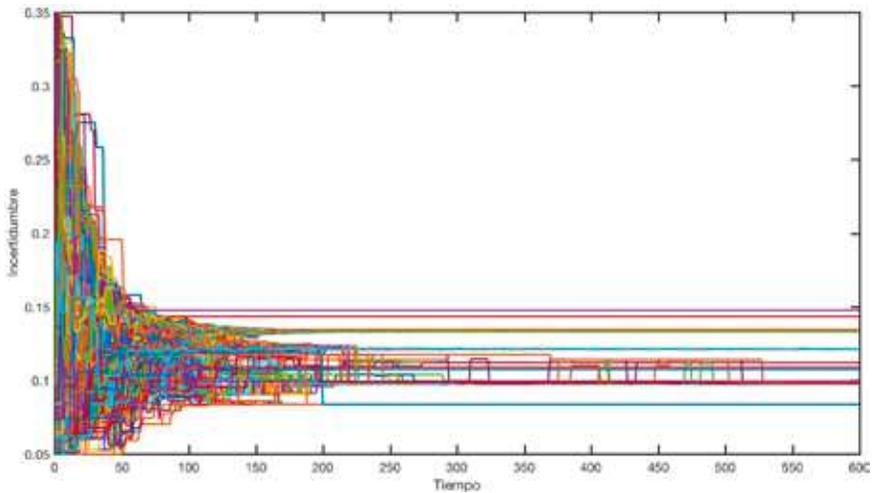


FIGURA 4.8.B

b) $p = 0.5$ (sociedad homogénea psicológicamente)

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA INCERTIDUMBRE CON $U = 0.2$ Y DIVERSAS
COMPOSICIONES PSICOLÓGICAS DE LA SOCIEDAD

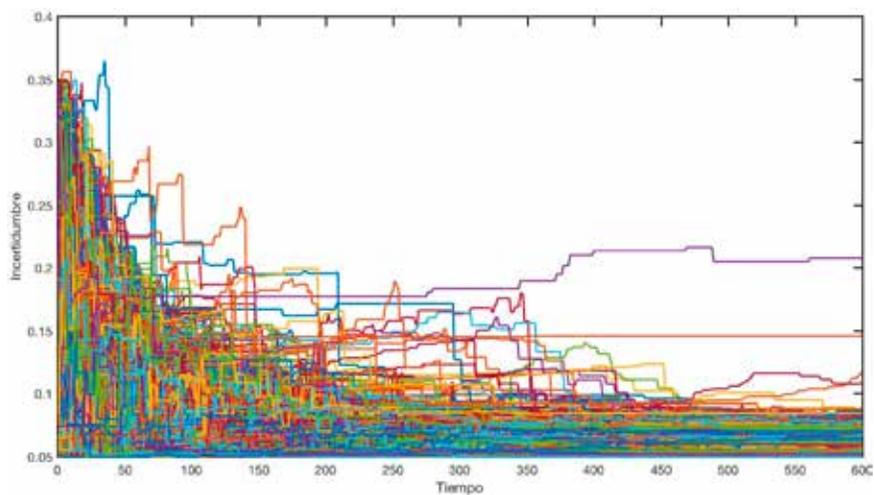


FIGURA 4.8.C
c) $p = 0$ (sociedad de AP-agentes)

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA INCERTIDUMBRE CON $U = 0.2$ Y DIVERSAS
COMPOSICIONES PSICOLÓGICAS DE LA SOCIEDAD

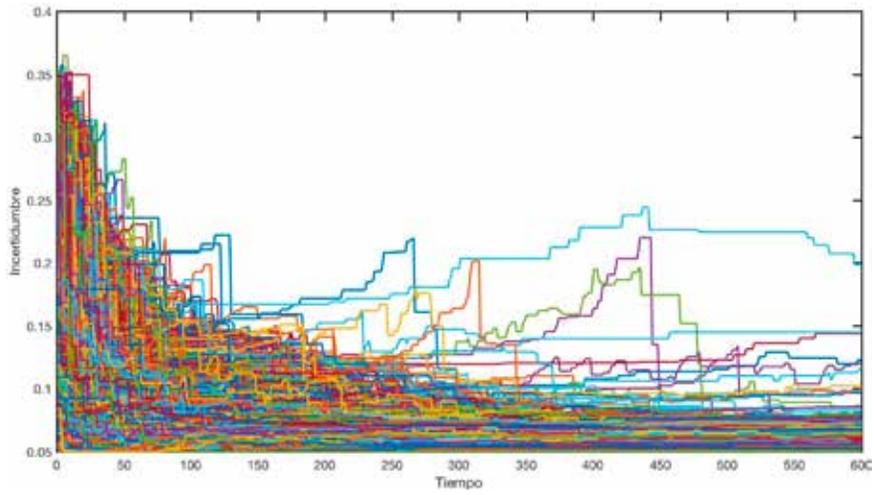


FIGURA 4.9.A
a) $p = 1$

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA OPINIÓN (ARRIBA) E HISTOGRAMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA OPINIÓN (ABAJO), PARA $U = 0.2$ Y $p = 1$

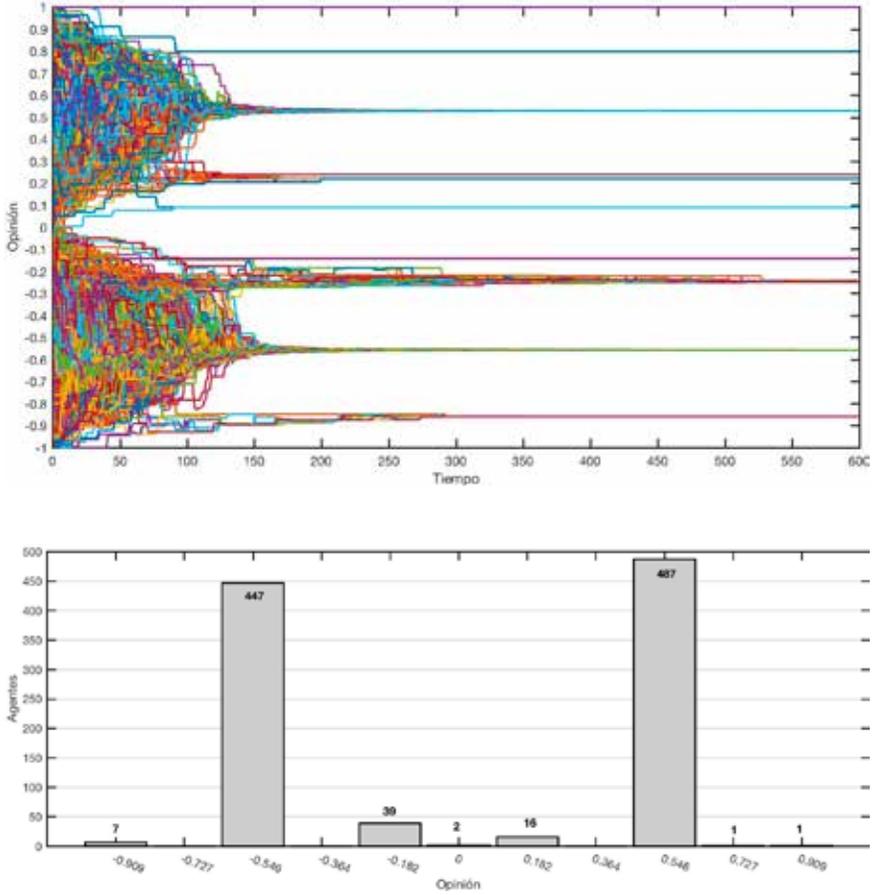


FIGURA 4.9.B
b) $p = 0.5$

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA OPINIÓN (ARRIBA) E HISTOGRAMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA OPINIÓN (ABAJO), PARA $U = 0.2$ Y $p = 0.5$

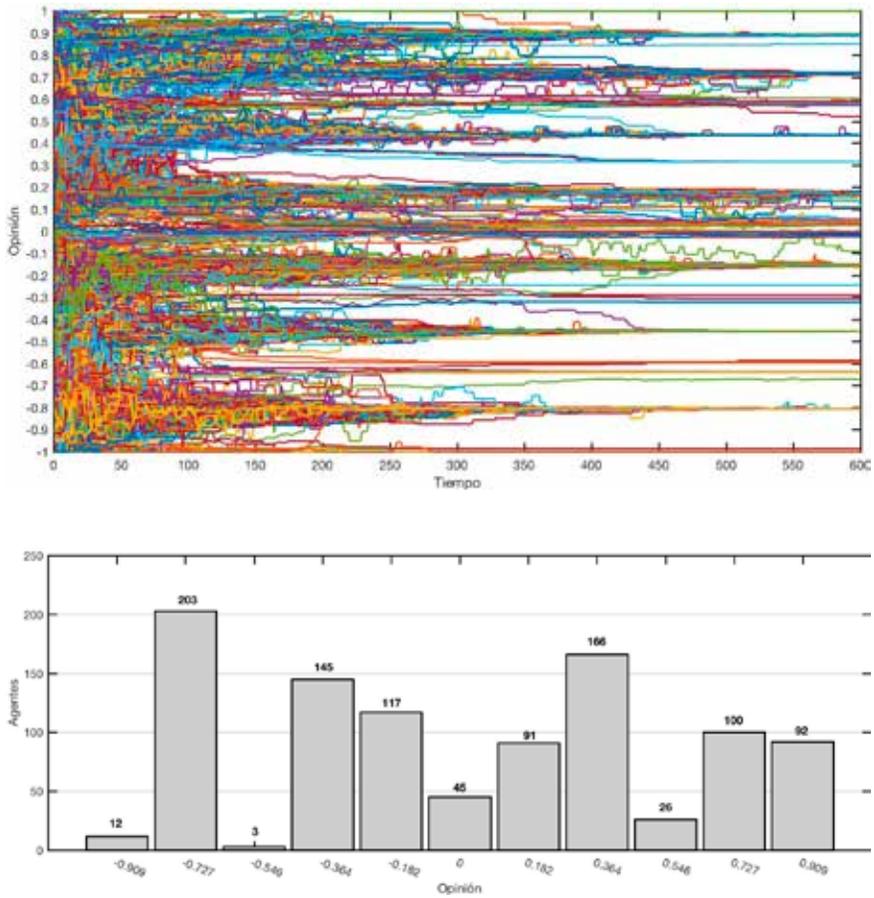
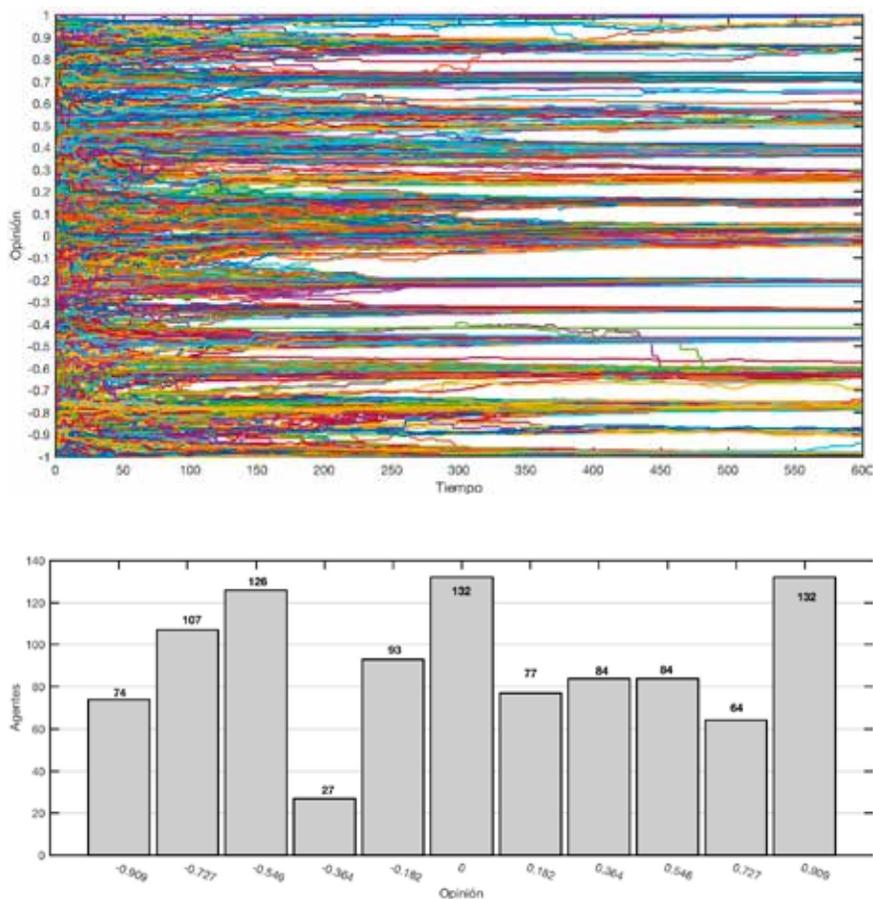


FIGURA 4.9.C

a) $p = 0$

FIGURA 4.9.C. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA OPINIÓN (ARRIBA) E HISTOGRAMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA OPINIÓN (ABAJO), PARA $U = 0.2$ Y $p = 0$



4.4.2. Sociedad de incertidumbre media inicial $U = 0.5$

Las gráficas de la Figura 4.10 muestran los resultados de la simulación para una sociedad con incertidumbre media inicial de $U = 0.5$. Con este valor, y observando la Figura 4.7, los agentes poseen un segmento de opinión más amplio, es decir, son agentes más abiertos al diálogo con

sus interlocutores, a pesar de ser agentes de diferentes perfiles psicológicos y pertenecer a diferente grupo ideológico. En el caso de una sociedad de concordia ($p = 1$), la incertidumbre converge a un solo valor, $u = 0.446$, mientras que la opinión queda muy distribuida en dos grupos representativos, $x \approx \pm 0.6$.

Es aquí más notoria la influencia de la ideología de los agentes, ya que, a pesar de ser muy abiertos al diálogo (amplio segmento de opinión), la ideología no permite el intercambio de opiniones entre un grupo ideológico y el otro, es decir, si $x_i(t) > 0$, entonces $x_i(t + 1) > 0$; y similarmente, si $x_i(t) < 0$, entonces $x_i(t + 1) < 0$. Por tanto, se tiene un consenso ideológico, es decir, un grupo de opinión dentro de cada grupo ideológico.

Con el aumento en la proporción de AP-agentes en la sociedad, ($p = 0.5$), observamos que la incertidumbre converge a tres valores: $u = 0.076, 0.356$ y 0.411 , con 153, 436 y 410 agentes, de manera respectiva. La opinión queda distribuida en tres grupos de opinión, con valores de $x = -0.546, 0$ y 0.546 , con 410, 149 y 436 agentes. Es notoria la presencia de un grupo centrista y los dos grupos opuestos ideológicamente (Figura 4.11).

FIGURA 4.10.A

EVOLUCIÓN DE INCERTIDUMBRE CON $U = 0.5$ Y $p = 1$

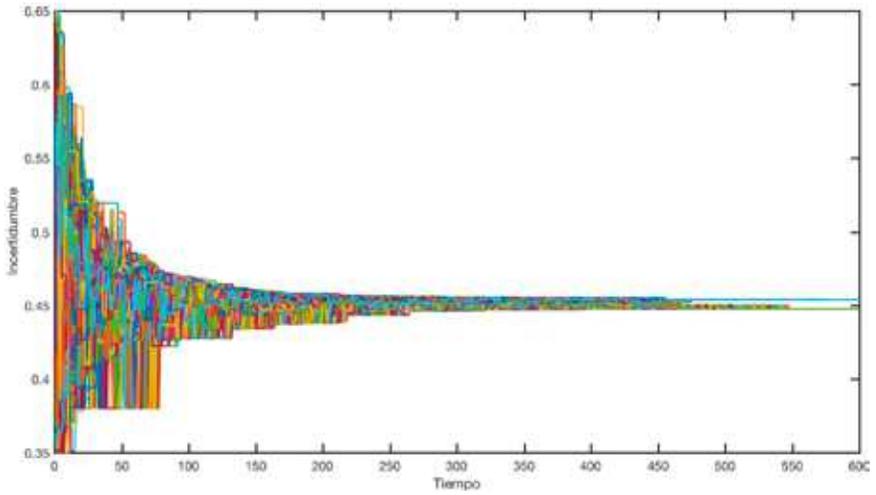


FIGURA 4.10.B

EVOLUCIÓN DE LA OPINIÓN CON $U = 0.5$ Y $p = 1$

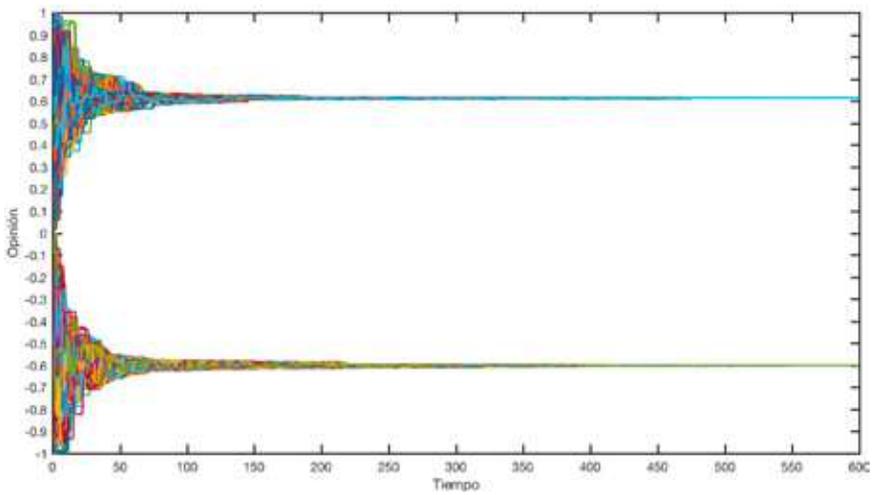


FIGURA 4.11.A

EVOLUCIÓN DE INCERTIDUMBRE, CON $U = 0.5$ Y $p = 0.5$

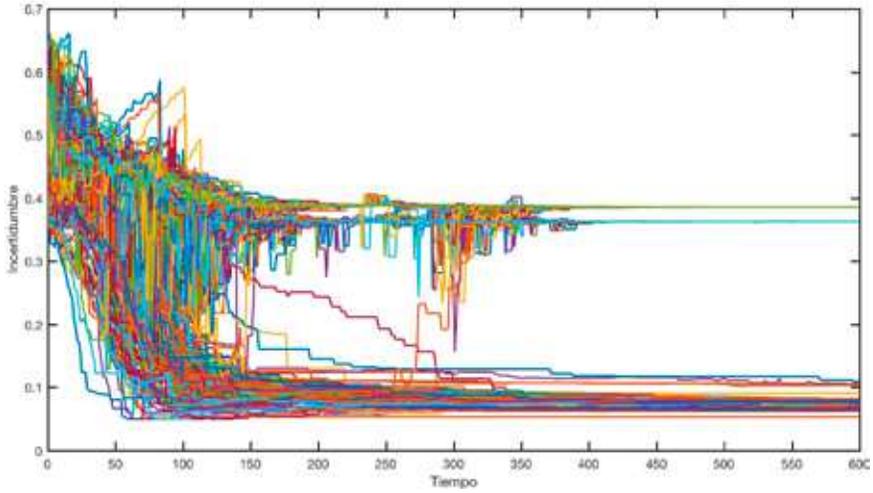


FIGURA 4.11.B

EVOLUCIÓN DE LA OPINIÓN, CON $U = 0.5$ Y $p = 0.5$

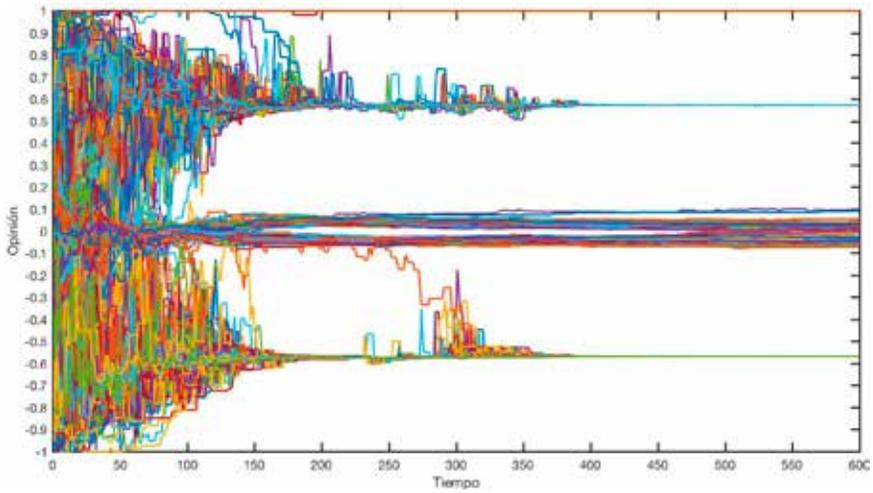
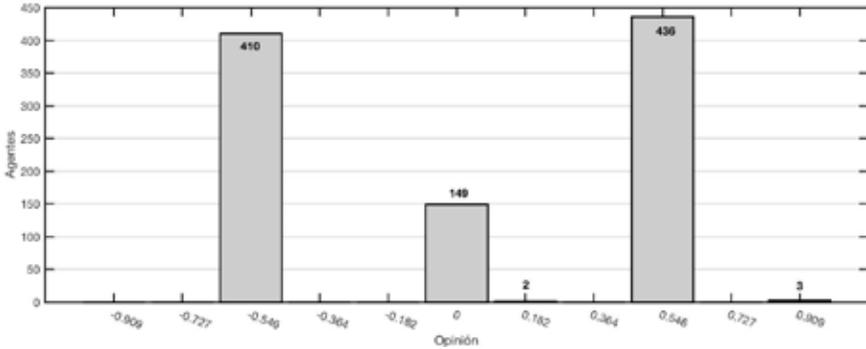


FIGURA 4.11.C

HISTOGRAMA DE LA OPINIÓN, CON $U = 0.5$ Y $p = 0.5$



En el caso de una sociedad de AP-agentes, ($p = 0$), se observó que la dinámica del sistema es sensible a las condiciones iniciales del sistema. Las Figuras 4.12 y 4.13 muestran dos experimentos para $U = 0.5$ y $p = 0$, donde la diferencia entre ellos sólo radica en la dinámica de interacción, es decir, en la selección aleatoria de las aristas de la red y en la aleatoriedad de la elección de agente pasivo/activo. Es notoria la diferencia en la evolución de la incertidumbre y la opinión.

En el primer experimento (Figura 4.12), la incertidumbre converge a tres valores, $u = 0.093, 0.352$ y 0.525 , con 152, 715 y 131 agentes. Por su parte, la opinión muestra momentos en los cuales hay un intercambio de agentes respecto a la pertenencia del grupo ideológico ($t \approx 425$), quedando la opinión de la sociedad definida en cuatro grupos de opinión, $x = -0.909, 0.364$ y 0.8 , con 132, 174, 541 y 150 agentes.

En el segundo experimento (Figura 4.13), a pesar de tener un comportamiento extraño, la incertidumbre converge a un valor de $u = 0.093$, con una frecuencia de 908 agentes. La opinión de la sociedad sigue un comportamiento diferente al anterior, pues, antes de $t \approx 300$, pareciera que su distribución queda bien definida, pero surge un encuentro de agentes e intercambio de ideologías que dan origen al grupo de opinión centrista, siendo éste el grupo dominante, con 808 agentes, mientras que los otros dos grupos, con $x = -0.727$ y $x = 0.546$, cuentan con 56 y 100 agentes, de manera respectiva.

FIGURA 4.12.A

EVOLUCIÓN DE LA INCERTIDUMBRE, CON $U = 0.5$ Y $p = 0$. EXPERIMENTO 1

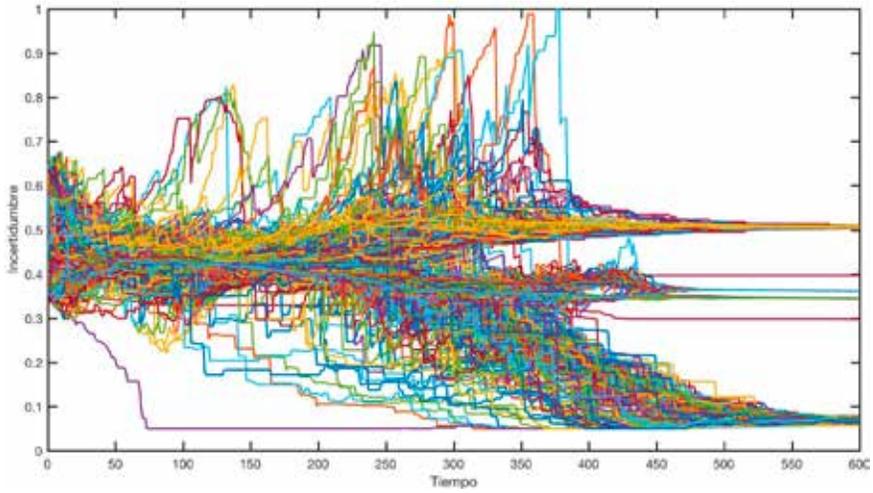


FIGURA 4.12.B

EVOLUCIÓN DE LA OPINIÓN, CON $U = 0.5$ Y $p = 0$. EXPERIMENTO 1

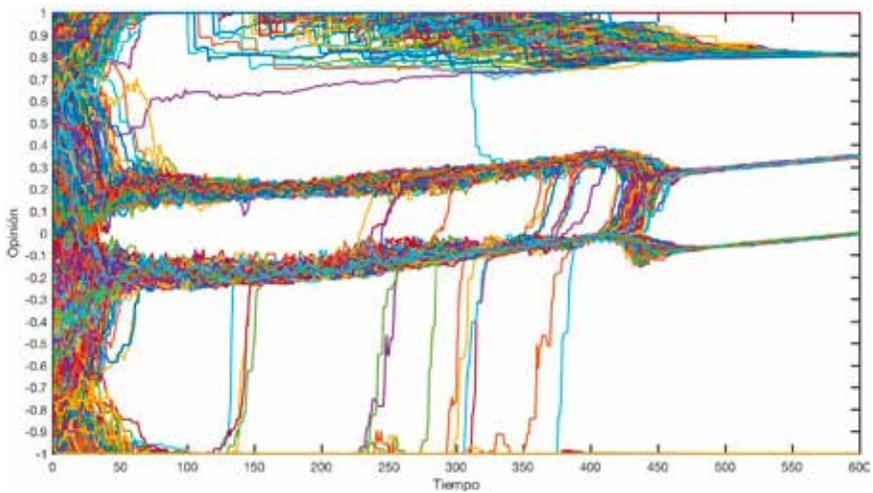


FIGURA 4.12.C

HISTOGRAMA DE LA OPINIÓN, CON $U = 0.5$ Y $p = 0$. EXPERIMENTO 1

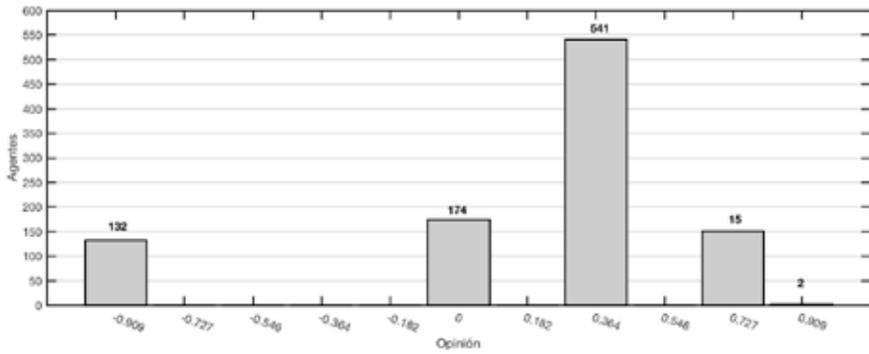


FIGURA 4.13.A

EVOLUCIÓN DE LA INCERTIDUMBRE, CON $U = 0.5$ Y $p = 0$. EXPERIMENTO 2

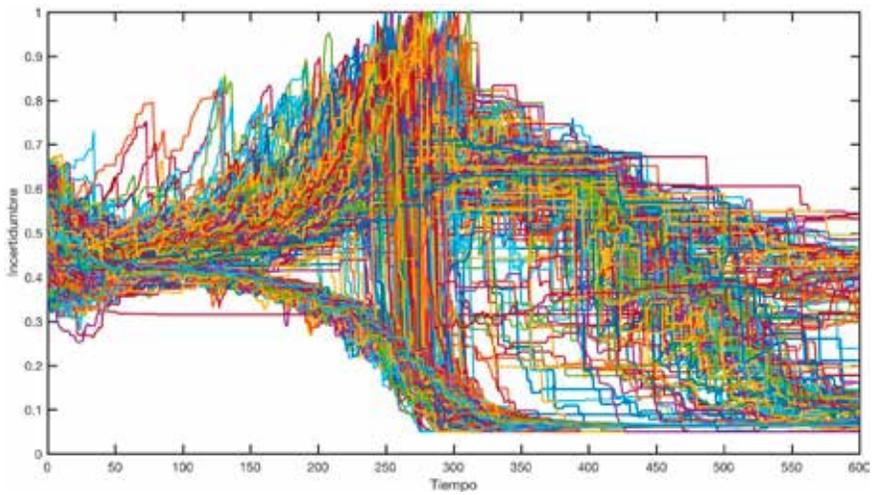


FIGURA 4.13.B

EVOLUCIÓN DE LA OPINIÓN, CON $U = 0.5$ Y $p = 0$. EXPERIMENTO 2

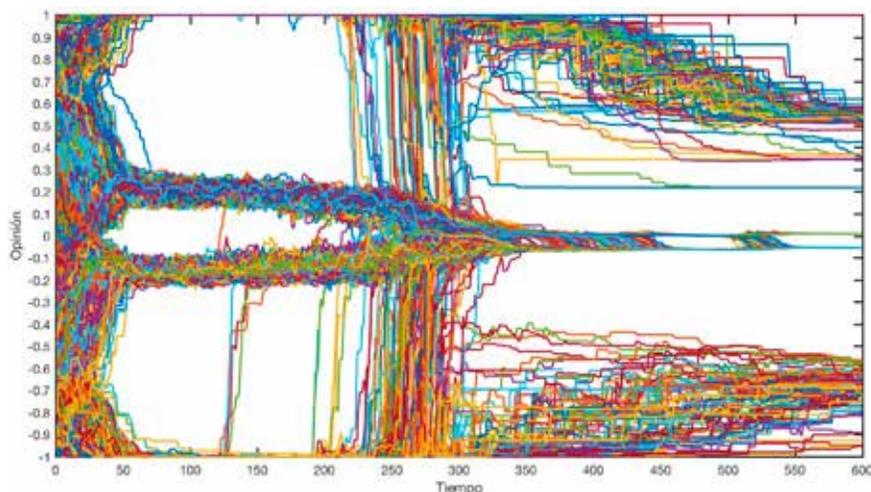
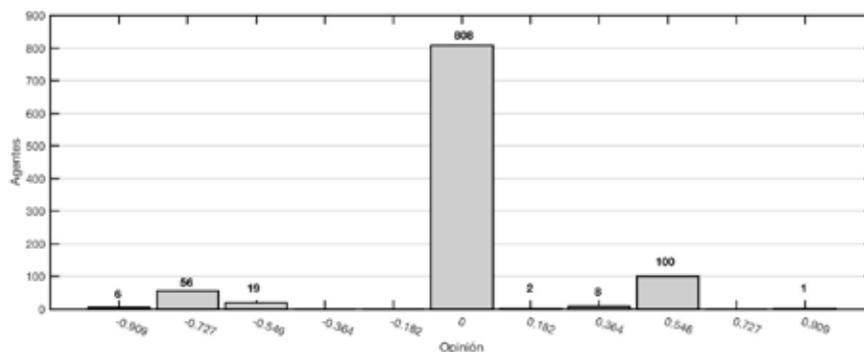


FIGURA 4.13.C

HISTOGRAMA DE LA OPINIÓN, CON $U = 0.5$ Y $p = 0$. EXPERIMENTO 2



En este caso de sociedades de AP-agentes, el factor ideológico se hace presente al causar esos cambios o perturbaciones alrededor del valor de opinión $x = 0$, ya que precisamente esta afinidad hace el cambio de signo al volver indeciso al agente, en cuanto a la pertenencia del grupo ideológico ($x < 0$ o $x > 0$).

4.5. INTERPRETACIÓN SOCIOPOLÍTICA DEL MODELO

Una opinión no es algo tan cierto como una convicción o una actitud. Una convicción es la seguridad que tiene una persona de la verdad o certeza de lo que piensa o siente, se relaciona con el sentimiento. De modo que, la incertidumbre que se define en los modelos de dinámica de opinión puede ser interpretada como la convicción de un agente. La ideología que se define en el modelo puede ser interpretada como la pertenencia de los agentes a dos partidos políticos diferentes: izquierdistas ($x < 0$) y derechistas ($x > 0$). El perfil psicológico es la propiedad interna del agente, el pensar que tiene respecto a la opinión y convicción con su interlocutor.

Imaginemos una sociedad democrática en la cual se discute la aprobación de cierta ley. En esta sociedad, los agentes pueden pertenecer a un partido “izquierdista”, ($x < 0$), o a un partido “derechista”, ($x > 0$), es decir, está presente una ideología. Además, estos agentes sociales poseen una opinión al respecto, pero también una convicción interna (perfil psicológico) y externa (incertidumbre). Por ejemplo, en las coaliciones políticas, se da un pacto entre dos o más partidos políticos (ideologías diferentes) con ideas afines (C- o AP-agentes). Supongamos varios casos:

Cada partido político está compuesto de C-agentes, es decir, agentes de concordia que buscan el diálogo y el acercamiento con su interlocutor. A partir de la convicción que rige a esa sociedad, (U), se presentan diversos escenarios, pues, para una convicción baja, cada partido político encuentra el consenso dentro de sus propias ideas. Con el aumento de esta convicción, el consenso interno se aleja del consenso en general debido a que los agentes “no cambian” su convicción, a pesar de ser agentes de concordia.

Cada partido político está compuesto de AP-agentes, es decir, agentes que pueden distanciarse de la opinión de su interlocutor. En este caso, una incertidumbre baja de los agentes causa la diversidad de opiniones dentro de cada grupo ideológico, sin encontrar consenso. Si se desea alcanzar el consenso, esto no es bueno, pero si se busca la diversidad de opiniones, este caso da como resultado la pluralidad, y, en cierto sentido, ambas posiciones son estables para el sistema. Cuando

los agentes poseen una incertidumbre alta de su opinión, surgen escenarios diferentes, pues, debido a esta propiedad psicológica de los agentes, los resultados varían, ya que en uno se da la presencia de un grupo de opinión “centrista”, y en otro se da mayor preferencia a la ideología “derechista”.

Ahora, supongamos que en cada partido político existen C-agentes y AP-agentes que interactúan entre sí. Es decir, agentes que, a pesar de pertenecer al mismo partido político, pueden influir o no en la opinión de sus interlocutores, ya sean del mismo partido o no. Cuando los agentes poseen una incertidumbre baja de su opinión, no existe un consenso en general, pero sí una diversidad de acuerdos. Cuando esta incertidumbre es alta, además del consenso dentro de cada grupo ideológico, surge un grupo “centrista”, el cual puede interpretarse como un grupo indeciso ante tal situación (Figura 4.11).

Como hemos observado, en este modelo se observa que la ideología ocasiona la separación de la sociedad en diferentes grupos de opinión. Janis (1972) se refiere al pensamiento de grupo como una búsqueda de consenso *independientemente* de una serie de antecedentes, incluida la cohesión grupal, que se considera la condición necesaria, pero no suficiente, para pensar en grupo. Tal comportamiento es el observado al considerar sociedades en las cuales coexisten agentes de diferente perfil psicológico y con baja convicción, pues de las gráficas anteriores se nota que el proceso con que se forma la opinión lleva a la sociedad a tener grupos definidos dentro de cada ideología ($x < 0$, $x > 0$).

Otra característica que podemos observar en este modelo es que, inicialmente, la sociedad se distribuye de manera uniforme, es decir, que en un principio los grupos ideológicos ($x < 0$, $x > 0$) cuentan con el mismo número de agentes. Luego, tras el proceso de formación y evolución de la opinión, ésta queda fortalecida dentro de una u otra ideología. Es decir, los agentes cambiaron su forma de pensar, sus ideales.

APÉNDICE

La psicología social estudia los fenómenos sociales e intenta descubrir las leyes por las que se rige la convivencia. Además, investiga las organizaciones sociales y trata de establecer los patrones de comportamientos de los individuos en los grupos, los roles que desempeñan y todas las situaciones que influyen en su conducta. Gordon Allport menciona que los “psicólogos sociales consideran su *disciplina* como un intento de comprender y explicar cómo los pensamientos, los sentimientos y la conducta de los individuos son influenciados por la presencia actual imaginada o implícita de otros seres humanos” (Watts y Strogatz, 1998; Morales *et al.*, 2007; Allport, 1954; Barra, 1998). La psicología social intenta estudiar los fenómenos sociales mediante procesos por los cuales los seres humanos interactúan con símbolos para construir significados, es decir, por medio del *interaccionismo simbólico*.¹ Dentro de la psicología social, existen diversas teorías que establecen los mecanismos para la elaboración de los modelos de dinámica de opinión; por ejemplo:

- *Teoría de la influencia social*. Área de la psicología social que se dedica a entender la manera en que la gente afecta los pensamientos, sentimientos y comportamientos de otros.
- *Teoría de la identidad social*. Desarrollada por Tajfel en 1972 (Tajfel, 1972), menciona que “la identidad social de una persona

¹ Corriente de pensamiento microsociológica relacionada también con la antropología y la psicología social.

está ligada al conocimiento de su pertenencia a ciertos grupos sociales y al significado emocional y evaluativo que surge de esa pertenencia” (Morales *et al.*, 2007). Por tanto, la identidad social es la consecuencia de que una persona se defina a sí misma a partir de su pertenencia a cierto grupo social (Turner y Haslam, 2001).

- *Teoría del juicio social.* Esta teoría dice que, cuando nos encontramos con un mensaje u opinión, juzgamos la posición del mensaje con nuestra propia escala de actitud, mentalmente al instante (Sherif y Hovland, 1961).
- *Teoría del impacto social.* Bibb Latané (1981) propuso esta teoría, en la que explica cómo un individuo está influenciado por los entornos sociales circundantes. Establece que el impacto de cualquier fuente de información sobre el individuo se basa en tres factores: (a) el número de individuos que componen dicha fuente; (b) la inmediatez y (c) la fuerza social. Diversos autores mencionan que la influencia social se define como el esfuerzo de una persona a cambiar comportamientos o actitudes de los demás (Bless *et al.*, 2001); se refiere a las formas en que las actitudes hacia las opiniones de una persona afectan las opiniones y actitudes de otra persona (Martin y Hewstone, 2003); o como el cambio en los pensamientos, sentimientos, actitudes o comportamiento de una persona como resultado de la interacción con otra persona o un grupo de ellas (Rashotte, 2007).

NOTA

BIBLIOGRAFÍA

- ABAR, S., T. K. Georgios, P. Lemarinier y G. M. P. O'Hare (2017). "Agent Based Modelling and Simulation Tools: A Review of the State-of-Art Software". *Computer Science Review*, núm. 24, pp. 13-33.
- ABRICA-JACINTO, N. L., E. Kurmyshev y H. A. Juárez (2017). "Effects of the Interaction Between Ideological Affinity and Psychological Reaction of Agents on the Opinion Dynamics in a Relative Agreement Model". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 20, núm. 3.
- ADAMS, R. N. (1983). *Energía y estructura. Una teoría del poder social*. México: Fondo de Cultura Económica.
- AGUILERA, A. y M. Posada (2017) *Introducción al modelado basado en agentes. Una aproximación desde Netlogo*. México: El Colegio de San Luis.
- ALLPORT, G. (1954). "The Historical Background of Modern Social Psychology". En G. Lindzey (ed.), *Handbook of Social psychology*, vol. 1. Addison-Wesley Publishing Company.
- ALTHUSSER, Louis (1970). "Ideologie et appareils ideologiques d'etat". *La Pensée*, núm. 151. [En la obra original de Louis Althusser, *Positions (1964-1975)*, pp. 67-125. París: Les Éditions sociales, 1976].
- AXELROD, R. (1997). *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*. Princeton University Press.

- AXTELL, R. (2000). "Why Agents? On the Varied Motivations for Agent Computing in the Social Sciences". The Brookings Institution. Washington, D.C. *Center on Social and Economic Dynamics Working Paper*, 17.
- BARABÁSI, Albert-Lászlo y Réka Albert (1999). "Emergence of Scaling in Random Networks", *Science*, vol. 286, núm. 5439, pp. 509-512.
- BARRA, A. E. (1998). *Psicología social*. Chile: Universidad de Concepción.
- BEDAU, H. A. (1961). "On Civil Disobedience". *Journal of Philosophy*, vol. 58, núm. 21, pp. 653-665.
- BERTALANFFY, Ludwing von (1976). *Teoría general de los sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. México: Fondo de Cultura Económica.
- BLESS, H, F. Strack y E. Walter (2001). "Memory as a Target of Social Influence?: Memory Distortions as a Function of Social Influence and Metacognitive Knowledge". En J. P. Forgas y K. D. Williams (eds.), *The Sydney Symposium of Social Psychology. Social Influence: Direct and Indirect Processes*. Nueva York, NY: Psychology Press, pp. 167-183.
- BOBBIO, N., N. Matteucci y G. Pasquino (1991). "Desobediencia civil", en *Diccionario de política*. México: Siglo XXI.
- BOCCARA, N. (2010). *Modeling Complex Systems*. Nueva York: Springer-Verlag.
- BONDY, J. A. y U. S. R. Murty (1976). *Graph Theory with Applications*, vol. 290. Londres: Macmillan.
- BYRNE, D. S. (1998). *Complexity Theory and the Social Sciences: An Introduction*. Business and the World Economy; 9. Routledge.
- CAIRÓ, O. G. (2005). *Metodología de la programación: algoritmos, diagramas de flujo y programas*. México: Alfaomega Grupo Editor.
- CAIRNEY, P. (2012) "Complexity Theory in Political Science and Public Policy". *Political Studies Review*, vol. 10, pp. 346-358.
- CASTELLANO, C., S. Fortunato y V. Loreto (2009). "Statistical Physics of Social Dynamics". *Reviews of Modern Physics*, vol. 81, núm. 2, pp. 591-646.
- CHATTERJEE, S. y E. Seneta (1977). "Towards Consensus: Some Convergence Theorems on Repeated Averaging". *Journal of Applied Probability*, vol. 14, núm. 1, pp. 89-97.

- CILLIERS, P. (1998). *Complexity and Postmodernism: Understanding Complex Systems*. Routledge: Psychology Press.
- COOLEY, C. H. (1918). *Social Process*. Nueva York: Charles Scribner's Sons.
- DAVIDSSON, P. (2000). "Multi Agent Based Simulation: Beyond Social Simulation". En *Multi-Agent-Based Simulation*, S. Moss y P. Davidsson (eds.). *MABS 2000. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1979, pp. 97-107. Berlín: Springer Verlag.
- DEFUANT, G, D. Neau, F. Amblard y G. Weisbuch (2000). "Mixing Beliefs Among Interacting Agents". *Advances in Complex Systems*, núm. 3, pp. 87-98.
- DEGROOT, M. H. (1974). "Reaching a Consensus". *Journal of the American Statistical Association*, vol. 69, núm. 345, pp. 118-12.
- DENARDO, J. (1985). *Power in Numbers: The Political of Protest and Rebellion*. Princeton University Press.
- DESTUTT DE TRACY, A. (1796). "Mémoire sur la faculté de penser. De la métaphysique de Kant et autres textes". *Corpus des oeuvres de philosophie en langue française*. Editor Fayard.
- DEUTSCH, K. (1985). *Los nervios del gobierno. Modelos de comunicación y control político*. México: Paidós.
- DEUTSCH, K. (1974). *Las relaciones internacionales*. Buenos Aires: Paidós.
- DODDS, P. S. y D. J. Watts (2004). "Universal Behavior in a Generalized Model of Contagion". *Physical Review Letters*, vol. 92, núm. 21, pp. 218701-1.
- DUVERGER, M. (1962). *Instituciones políticas y derecho constitucional*. Barcelona: Ariel.
- EASTON, D. (1953). *The Political System. An Inquiry into State of Political Science*. Nueva York: Alfred A. Knopf, Inc.
- EPSTEIN, J. M. (2002). "Modeling Civil Violence: An Agent-Based Computational Approach". *PNAS*, vol. 99 (suppl. 3) 7243-7250. Disponible en <https://doi.org/10.1073/pnas.092080199>.
- FELDMAN, M. S. y J. G. March (1981). "Information in Organizations as Signal and Symbol". *Administrative Science Quarterly*, vol. 26, núm. 2, pp. 71-186.

- FERRANDO-BADÍA, J. (1973) “Métodos en el estudio de la ciencia política”. *Revista española de la opinión pública*, núm. 31, pp. 7-25.
- FISKE, S. T., D. T. Gilbert y G. Lindzey (eds.) (2010). *Handbook of Social Psychology*, vol. 2. Hoboken, N.J.: Wiley.
- FOOTE, N. y C. Hart (1953). “Public Opinion and Collective Behavior”. En M. Sherif y M. Wilson (comps.), *Group Relations at the Crossroads*. Nueva York: Harper and Bross.
- FRIEDKIN, N. E. (1999). “Choice Shift and Group Polarization”. *American Sociological Review*, vol. 64, núm. 6, pp. 856-875.
- FROST, D., y Richard Phillips (2012). “The 2011 Summer Riots: Learning from History-Remembering ’81”. *Sociological Research Online*, vol. 17, núm. 3, pp. 1-8. Disponible en <https://doi.org/10.5153/sro.2718>.
- GALAM, S. (2008). “Sociophysics: A Review of Galam Models”. *International Journal of Modern Physics C*, vol. 19, núm. 03, pp. 409-440.
- GALÁN, J. M., L. R. Izquierdo, S. S. Izquierdo, J. I. Santos, R. del Olmo, A. López-Paredes A. y B. Edmonds (2009). “Errors and Artefacts in Agent-Based Modelling”. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 12, núm. 1. Disponible en <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/1/1.html>
- GARCÍA-VALDECASAS, J. I. (2016). *Simulación basada en agentes. Introducción a Netlogo*. España: Centro de Investigaciones Sociológicas.
- GERSHENSON, C. (2015). “Enfrentando a la complejidad: predecir vs. Adaptar”. En *Complexica: cervell, societat i llengua des de la transdisciplinarietat*. Barcelona: Universidad de Barcelona, pp. 25-38
- GERSHENSON, C. (2013). “¿Cómo hablar de complejidad?”. *Llengua, Societat i Comunicació*, núm. 11. Disponible en <http://revistes.ub.edu/index.php/LSC/>
- GILBERT, N. (2004). “Open Problems in Using Agent-Based Models in Industrial and Labor Dynamics”. *Advances in Complex Systems*, núm. 7, pp. 285-288.
- GILBERT, N. (2002). “Varieties of Emergence”. En *Proceedings of the Agent 2002 Conference on Social Agents: Ecology, Exchange, and Evolution*, Charles Macal y David Sallach (eds.), pp. 41-50.

- GILBERT, N. y R. Conte (1995). *Artificial Societies: The Computer Simulation of Social Life*. Londres: Routledge,.
- GILBERT, N. y K. G. Troitzsch (2005). *Simulation for the Social Scientist*. McGraw-Hill Education.
- GRIMM, V., U. Berger, F. Bastiansen, S. Eliassen, V. Ginot, J. Giske y D. L. DeAngelis, D. L. (2006). "A Standard Protocol for Describing Individual-Based and Agent-Based Models". *Ecological Modelling*, vol. 198, núm. 1-2, pp. 115-126.
- GRIMM, V., U. Berger, D. L. DeAngelis, J. G. Polhill, J. Giske y S. F. Railsback (2010). "The ODD Protocol: A Review and First Update". *Ecological Modelling*, vol. 221, núm. 23, pp. 2760-2768.
- GOLDSTEIN, J. (1999). "Emergence as a Construct: History and Issues". *Emergence*, vol. 1, núm. 1, pp. 49-72.
- GRÖNLUND, A. y P. Holme (2004). "Networking the Seceder Model: Group Formation in Social and Economic Systems". *Phys. Rev. E*, 70:036108.
- HEATH, B., R. Hill y F. Ciarallo (2009). "A Survey of Agent-Based Modeling Practices (January 1998 to July 2008)". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 12, núm. 4, p. 9. Disponible en <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/4/9.html>
- HEGSELMANN, R., U. Mueller y K. G. Troitzsch (1996). *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View*. Países Bajos: Theory and Decision Library / Springer.
- HEGSELMANN, R. y U. Krause (2002). "Opinion Dynamics and Bounded Confidence: Models, Analysis and Simulation". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 5, núm. 3. Disponible en <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/3/2.html>
- HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, A. (2012). "Modelos basados en agentes para la simulación de sistemas complejos sociales". En *Complejidad, la encrucijada del pensamiento*, Javier Corona Fernández y Rodolfo Cortés del Moral (coords.). México: Porrúa, pp. 181-198.
- HETHCOTE, H. W. (2000). "The Mathematics of Infectious Diseases". *Society for Industrial and Applied Mathematics*, vol. 42, núm. 4, pp. 599-653.

- HOLYST, J. A., K. Kacperski y F. Schweitzer (2001). "Social Impact Models of Opinion Dynamics". *Annual Reviews of Computational Physics*, vol. 9, núm. 22, pp. 253-273.
- IZQUIERDO, L. R., J. M. Galán J. I. Santos y R. del Olmo (2008). "Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas". *EMPIRIA. Revista de Metodología de las Ciencias Sociales*, núm. 16, pp. 85-112.
- JANIS, I. L. (1972). *Victims of Groupthink: A Psychological Study of Foreign-Policy Decisions and Fiascoes*. Oxford, Inglaterra: Houghton Mifflin.
- KAUFFMAN, Stuart A. (1993). *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*. Nueva York, NY: Oxford University Press.
- KURAN, T. (1989). "Sparks and Prairie Fires: A Theory of Unanticipated Political Revolution". *Public Choice*, vol. 61, núm. 1, pp. 41-74.
- LAGUNA-SÁNCHE, G. A., R. Marcelín-Jiménez A. Patrick-Encina y G. Vázquez-Hernández (2016). *Complejidad y sistemas complejos: un acercamiento multidimensional*. Disponible en <http://scifunam.fisica.unam.mx/mir/copit/TS0013ES/TS0013ES.html>
- LATANÉ, B. (1981). "The Psychology of Social Impact". *American Psychologist*, vol. 36, núm. 4, pp. 343-356.
- LUHMANN, N. (1989). *Ecological Communication*. Chicago: University of Chicago Press.
- MAHONEY, J. y G. Goertz (2006) "A Tale of Two Cultures: Contrasting Quantitative and Qualitative Research". *Political Analysis*, núm. 14, pp. 227-249.
- MALDONADO, C. E. y N. A. Gómez (2010). "Modelamiento y simulación de sistemas complejos". *Documento de Investigación* núm. 66., Universidad del Rosario, Bogotá.
- MANTEGNA, R. N. (2006). "Majorana's Article on 'The Value of Statistical Laws in Physics and Statistical Sciences'". *PoS*, EMC2006:011.
- MARCONE, J. (2009). "Las razones de la desobediencia civil en las sociedades democráticas". *Andamios*, vol. 5, núm. 10, pp. 39-69. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/scielo>.

[php?script=sci_arttext&pid=S1870-00632009000100003&lng=es&nrm=iso](http://dx.doi.org/10.4135/9781848608221.n14)

- MARTIN, R. y M. Hewstone (2003). "Social-Influence Processes of Control and Change: Conformity, Obedience to Authority and Innovation". En Michael A. Hogg y Joel Cooper (eds.), *The SAGE Handbook of Social Psychology: Concise Student Edition*. Disponible en <http://dx.doi.org/10.4135/9781848608221.n14>.
- MINSKY, M. (1965). "Matter, Mind and Models". *MIT Memo*, núm. 77. Disponible en <http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/6119/AIM-077.pdf>
- MONTESINOS, R. (1999). "Un modelo para armar. La política desde la teoría de los sistemas". *Estudios Sociológicos*, vol. 17, núm. 49, pp. 59-93.
- MORALES, J. F. D., M. C. Moya, E. Gaviria e I. Cuadrado (2007). *Psicología social*. Madrid: McGraw-Hill.
- MORENO, Y., N. Mazair y A. F. Pacheco (2004). "Dynamics of Rumor Spreading in Complex Networks". *Physical Review. E, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 69 6 Pt 2, 066130.
- MORIELLO, S. A. (2006a). *Inteligencia natural y sintética - una aproximación transdisciplinaria*. Estados Unidos: Nueva Librería.
- MORIELLO, S. A. (2006b). "Dinámica de los sistemas complejos". Disponible en <http://www.pensamientoComplejo.org/>
- NEMICHE, M., R. Pla-López y V. Cavero-Millán (2013). "Un modelo teórico basado en agentes para simular la evolución de los comportamientos sociales en un mundo artificial". *Revista internacional de sistemas*, núm. 18, pp. 19-28
- NÖELLE-NEUMANN, Elisabeth (2010). *La espiral del silencio. Opinión pública: nuestra piel social*. Barcelona: Paidós.
- PAVÓN, J., A. López-Paredes y J. M. Galán (2012). "Modelado basado en agentes para el estudio de sistemas complejos". *Novática*, núm. 218, pp. 13-18
- PIMENTEL, Arturo (2008). *Sincronización y fenómenos colectivos: modelos de redes complejas y votantes*. México: CopIt ArXives.
- PORRAS-VELÁSQUEZ, N. R. (2011). "Lo ideológico en la psicología social y en la guerra en Colombia". *Revista de Psicología GEPU*, vol. 2, núm. 2, pp. 138-157.

- QUIROZ-PALACIOS, A. (2017). “Desobediencia civil en Puebla (México). Una visión desde la psicología política”. *Revista Electrónica de Psicología Política*, año 15, núm. 38. Disponible en www.psicopol.unsl.edu.ar/2017-Julio-Articulo%2001.pdf
- RASHOTTE, L. S. (2007). *Social influence*. DOI: 10.1002/9781405165518.wbeoss154.
- RAWLS, J. (1979). *Teoría de la justicia*. México: FCE.
- RODRÍGUEZ-ZOYA, L y P. Roggero (2014). “La modelización y simulación computacional como metodología de investigación social”. *Polis: Revista Latinoamericana*, núm. 39. Disponible en <http://journals.openedition.org/polis/10568>
- SANSORES-PÉREZ, C. E. (2007). “Metodología para el estudio de sociedades artificiales”. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid. Disponible en <http://grasia.fdi.ucm.es/jpavon/es/tesisdoctorales.html>
- SANSORES-PÉREZ, C. E. y J. Pavón (2005). “Simulación social basada en agentes”. *Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, vol. 9, núm. 25, pp. 71-78.
- SARTORI, Giovanni (1992). “Opinión pública”. En G. Sartori (ed.), *Elementos de la teoría política*. Madrid: Alianza Singular, pp. 149-175.
- SARTORI, Giovanni (1988). *Teoría de la democracia*. México: Alianza.
- SCHELLING, T. C. (1971). “Dynamic Models of Segregation”. *Journal of Mathematical Sociology*, vol. 1, pp. 143-186.
- SCOTT, J. (1997). “Formas cotidianas de rebelión campesina”. *Historia Social*, núm. 28, pp. 13-39.
- SHERIF, M. y C. I. Hovland (1961). *Social Judgment: Assimilation and Contrast Effects in Communication and Attitude Change*. Oxford, Inglaterra: Yale University Press.
- SQUAZZONI, F. (2012). *Agent-Based Computational Sociology*. Reino Unido: Jon Wiley & Sons.
- SQUAZZONI, F. (2008). “The Micro-Macro Link in Social Simulation”. *Sociologica*, núm 1, pp. 1-26.
- STAUFFER, D. (2003). “Sociophysics Simulations”. *Computing in Science and Engineering*, vol. 5, núm. 3, pp. 71-75.

- STAUFFER, D. (2005). "Sociophysics Simulations II: Opinion Dynamics". En J. Marro, P. L. Garrido y M. A. Muñoz (eds.), *Modeling Cooperative Behavior In The Social Sciences*, vol. 779, Granada, España: AIP Conference Proceedings, pp. 56-68.
- STEELS, L. (1995). "Building Agents Out of Autonomous Behavior Systems". En *The Artificial Life Route to Artificial Intelligence*, L. Steels y R. Brooks (eds.). Londres: Routledge. Disponible en <https://doi.org/10.4324/9781351001885>.
- STRASSER, C. (1972). "La idea de una ciencia política". *Desarrollo Económico*, vol. 12, núm. 46, pp. 405-419.
- TAJFEL, H. (1974). "Social Identity and Intergroup Behavior". *Social Science Information*, núm. 13, pp. 65-93.
- TAJFEL, H. (1972). "La catégorisation sociale". En S. Moscovici (ed.), *Introduction à la psychologie sociale*. París: Larousse, pp. 292-302.
- TEISMAN, G. R. y E. H. Klijn (2008). "Complexity Theory and Public Management". *Public Management Review*, vol. 10, núm. 3, pp. 287-297.
- TORSUN, I. S. (1995). *Foundations of Intelligent Knowledge-Based Systems*. Nueva York: Academic Press.
- TURNER, John C. y S. Alexander Haslam (2001). "Social Identity, Organizations, and Leadership". En M. E. Turner (ed.), *Applied Social Research. Groups at Work: Theory and Research*. Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, pp. 25-65.
- VAN DIJK, T. A. (1999). *Ideología. Una aproximación multidisciplinaria*. Barcelona: Gedisa.
- WARREN, D. I. (1969). "Neighborhood Structure and Riot Behavior in Detroit: Some Exploratory Findings". *Social Problems*, vol. 16, núm. 4, pp. 464-484. Disponible en <https://doi.org/10.2307/799955>.
- WATTS, D. J. y S. H. Strogatz (1998). "Collective Dynamics of 'Small-World' Networks". *Nature*, núm. 393, pp. 440-442.
- WOOLDRIDGE, Michael J. (2002). *An Introduction to Multiagent Systems*. John Wiley & Sons.
- WOOLDRIDGE, M. J. y R. N. Jennings (1995). "Intelligent Agents: Theory and Practice". *The Knowledge Engineering Review*, vol. 10, núm. 2, pp. 115-152.

- XIA, H., Huili Wang y Zhaogou Xuan (2011). "Opinion Dynamics: A Multidisciplinary Review and Perspective on Future Research". *International Journal of Knowledge and Systems Science*, vol. 2, núm. 4, pp. 72-91.
- YOUNG, K. (1956). *Psicología social de la opinión pública y de los medios de comunicación*. Buenos Aires: Paidós.
- YOUNG, K., G. Germani y W. J. H. G. Sprott (1995). *La opinión pública y la propaganda*. México: Paidós.