

La modelización y simulación computacional como metodología de investigación social

Leonardo G. Rodríguez Zoya

Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
Email: leonardo.rzoya@gmail.com

Pascal Roggero

Universidad de Toulouse 1-Capitole, Toulouse, Francia,
Email: Pascal.Roggero@ut-capitole.fr

Resumen: El presente trabajo se propone brindar una introducción crítica y sistemática a la metodología de modelado y simulación computacional en ciencias sociales. El uso de métodos computacionales para simular procesos sociales se ha expandido con vigor en los últimos veinte años en las distintas disciplinas de las ciencias sociales; sin embargo, continúa siendo una metodología poco conocida y empleada por los investigadores sociales en América Latina. El objetivo de este trabajo es contribuir a la reflexión epistemológica, teórica y metodológica de la simulación computacional en ciencias sociales, atendiendo a la dimensión política que atraviesa toda praxis científica.

Palabras clave: modelización, simulación computacional, metodología, experimentación virtual, procesos sociales.

Modeling and computer simulation as methodology for social science research

Abstract: The current work aims to develop a critical and systematic introduction to computer modeling and simulation methodology in the social sciences. The use of computational methods to simulate social processes has been largely increased during the last twenty years in all social sciences disciplines; however, computer modeling and simulation continues to be extensively unknown and little used by social researchers in Latin America. The goal of this work is to contribute to develop an epistemological, theoretical and methodological analysis of computer simulation in social sciences, taking into account the political dimension underlying all scientific praxis.

Key words: modeling, computer simulation, methodology, virtual experimentation, social processes.

A modelagem e simulação computacional como uma metodologia de pesquisa social

Resumo: Este artigo tem como objetivo fornecer uma introdução crítica e

sistemática à metodologia de modelagem e simulação computacional na introdução das ciências sociais. O uso de métodos computacionais para a simulação de processos sociais tem se expandido fortemente nos últimos vinte anos, nas diversas disciplinas das ciências sociais; no entanto, continua sendo uma metodologia pouco conhecida e pouco empregada pelos cientistas sociais na América Latina. O objetivo deste trabalho é contribuir para a reflexão epistemológica, teórica e metodológica de simulação computacional nas ciências sociais, considerando-se a dimensão política que atravessa toda práxis científica.

Palavras-chave: modelagem, simulação computacional, metodologia, experimentação virtual, processos sociais.

* **

Introducción

Desde mediados de los años 1990 se ha expandido de modo sistemático el uso intensivo de métodos computacionales para el estudio de procesos sociales en antropología (Díaz Córdova 2003), economía (Heymann, Perazzo y Zimmermann 2009; Schelling 1969, 1971; Tesfatsion 2002), sociología (Gilbert y Conte 1995; Gilbert y Doran 1994; Ilgen y Hulin 2000; Roggero y Sibertin-Blanc 2008), arqueología (Barceló 1993; Doran 1973, 1979) y ciencia política (Axelrod 2004). Sin embargo, la modelización y simulación computacional como metodología de investigación científica constituyen un enfoque poco conocido y empleado en la actualidad por parte de las ciencias sociales latinoamericanas, aunque se destacan interesantes contribuciones realizadas desde nuestro continente (Herrera et al. 2004; Terán y Domingo 1997; Varsavsky et al. 1971)¹.

El presente trabajo tiene por objetivo contribuir a la reflexión epistemológica, teórica y metodológica de la simulación computacional en ciencias sociales, atendiendo particularmente a los usos, potencialidades y límites de la simulación en la investigación social. Para este fin, la estrategia argumentativa se desarrolla en cuatro momentos. Luego de introducir el concepto de modelo, se analiza la simulación como estrategia metodológica para la investigación en ciencias sociales, atendiendo particularmente a la relación de los métodos computacionales con los métodos cualitativos y cuantitativos. Seguidamente, se problematiza la relación entre teoría y simulación computacional: se analiza la operacionalización de teorías a través de modelos computacionales, el testeo de hipótesis vía simulación, y la utilidad de la simulación para la construcción de teorías. Finalmente, se concluye con algunas reflexiones para una epistemología crítica de la simulación computacional.

El concepto de modelo

En las ciencias sociales son más habituales los debates en torno a autores, teorías y conceptos, o bien las referencias a enfoques, perspectivas y escuelas, que las discusiones sustantivas sobre la construcción y

validación de modelos científicos. En efecto, una constante se impone: el concepto de modelo y la práctica de modelización no forman parte de la cultura disciplinar de las ciencias sociales o, mejor aún, no conforman el *habitus* metodológico de nuestras disciplinas.

La historia de la ciencia puede ayudarnos a comprender por qué el concepto de modelo no ha arraigado en la práctica científica de las ciencias sociales. El uso científico del término modelo se origina en el campo de las ciencias físicas y de las ciencias formales (lógica matemática) entre 1860 y 1900 (Armatte 2006). En aquellos tiempos estaba en plena eclosión la disputa del método que instauró una controversia epistemológica profunda en torno a la científicidad de las ciencias sociales. Tras las huellas del pensamiento de Dilthey y Rickert quedaron establecidas las categorías polares de la *Methodenstreit* que dividían a las ciencias naturales (*Naturwissenschaften*) y las ciencias del espíritu (*Geisteswissenschaften*) (Naishtat 2009). La disputa epistemológica se prolongó hasta bien entrado el siglo XX en un acalorado debate entre la tradición fenomenológico-hermenéutica y el modelo nomotético-deductivo de matriz positivista que tuvo en Alfred Schütz (1962), Ernest Nagel (1978) y Carl Hempel (1979) a algunos de sus interlocutores más vivaces y lúcidos. En este espacio controversial², organizado en torno a la disputa del método y la idea de científicidad, puede afirmarse sin vacilar que el concepto de modelo quedó atrapado en la red conceptual de las ciencias nomotéticas y se convertiría de modo indiscutible en el instrumento analítico por excelencia de las ciencias de la materia y de las ciencias de la vida, sin excluir, desde luego, a las ciencias formales y computacionales.

Esto explica por qué las ciencias sociales que reclaman para sí la matemática como instrumento analítico sean más propensas a emplear de modo explícito la categoría de modelo -como es el caso de la ciencia económica o de la ciencia política de matriz anglosajona-, que aquellas otras donde las herramientas matemáticas juegan un papel secundario.

En estas coordenadas histórico-críticas cobra sentido el hecho que comenzar a hablar de modelo o, más precisamente, de modelos computacionales y modelos de simulación en ciencias sociales implica necesariamente una apertura hacia un concepto y una forma de práctica científica que no se encuentra en el repertorio habitual de las disciplinas sociales y humanísticas. Más aún, la modelización y la simulación implican para el investigador social una apertura cultural hacia lenguajes y disciplinas que le son, en principio, ajenos (Roggero y Sibertin-Blanc 2008). La apertura cultural hacia la metodología de modelización y simulación no supone en ningún caso una pretensión de matematización de lo social ni mucho menos aún la adopción de una perspectiva fiscalista del mundo humano.

En oposición al prejuicio o, mejor aún, la pre-noción en sentido durkheimiano que sostiene que la modelización en ciencias sociales consti-

tuye una forma de reduccionismo, este trabajo sostiene y defiende la tesis que la modelización y la simulación constituyen una estrategia para abordar la complejidad social (Morin 1984; Roggero 2006). Más aún, la modelización ofrece nuevas posibilidades para un trabajo colectivo de carácter verdaderamente interdisciplinario³ (García 2006). Así, el trabajo de modelización y simulación brinda la posibilidad inédita de integrar conocimientos de distintas disciplinas y, por tanto, de abrir las ciencias sociales (Wallerstein 1996) a un diálogo fecundo con las ciencias de la vida, las ciencias de la materia y las ciencias computacionales.

Inscribir la categoría de modelo de simulación en la matriz disciplinar de las ciencias sociales plantea el desafío de enfrentar un obstáculo epistemológico (Bachelard 1972) inherente a toda comunidad científica. Este obstáculo está relacionado con la posibilidad de poner en cuestión el propio sistema de pensamiento, es decir, de ejercer una auto-crítica del pensamiento racional que modula y orienta nuestra forma de concebir y practicar la investigación social (Morin 1982). Tal ejercicio auto-crítico supone enfrentarnos a nuestras pre-nociones, es decir, a las ideas que organizan nuestro sentido común científico. El interrogante a plantear consiste en saber de qué modo nuestra concepción de ciencia y conocimiento científico, o mejor aún, nuestro sistema de creencias⁴ o ideología⁵, permite u obstruye la inclusión del concepto de modelo de simulación en el sistema de prácticas de nuestra disciplina. Se trata de un interrogante que tiene que ser planteado por cada investigador individualmente y reflexionado en el seno de cada grupo y comunidad epistémica. En un sentido crítico, podemos hipotetizar que el sistema de creencias dominante en las ciencias sociales funciona como una matriz ideológica que excluye el concepto de modelo, en la medida en que éste supone algún tipo de lenguaje formal y fundamento matemático en su concreción metodológica.

Con el objetivo de suscitar una reflexión auto-crítica que resulte provechosa para los científicos sociales, en el sentido antes aludido, parece conveniente precisar el campo semántico en el que se inscribe el concepto de modelo. En su clásico artículo *Matter, Minds and Models*, Marvin Minsky -uno de los padres de la inteligencia artificial y las ciencias de la computación- brindó una de las definiciones más flexibles y epistemológicamente más ricas del concepto de modelo:

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 (Minsky 1965b)⁶.

Uno de los aspectos destacables de la conceptualización de Minsky es la inclusión del sujeto-observador en el concepto de modelo. En efecto, podemos hablar de una relación triádica compuesta por el sujeto (S), el modelo (M) y el objeto (O). En esta relación, el modelo aparece como un mediador epistémico de la relación sujeto-objeto. En otros términos, el sujeto puede interrogar y aprender algo del objeto en y a través del modelo construido. Además, el concepto de modelo tiene

una noción eminentemente práctica puesto que M tiene que poder ser empleado por S para responder ciertas preguntas sobre O. De este modo, el modelo aparece como un instrumento cognoscitivo, elaborado por un sujeto para construir conocimiento sobre el objeto modelizado. Por otro lado, resulta importante destacar que todo modelo tiene un por qué y un para quién, es decir, es el resultado de una construcción deliberada por parte de un sujeto en función de ciertos intereses. Por tanto, podemos afirmar que ningún modelo es neutral, sino que presupone un sujeto de conocimiento en un determinado contexto histórico-social que construye un determinado modelo en función de ciertos intereses y objetivos.

La teoría crítica y reflexiva de la modelización (Rodríguez Zoya 2013) permite introducir mayor precisión conceptual a la definición de Minsky. Así, se emplea el término de **modelizador** para referirse al sujeto de conocimiento que construye un modelo mientras que la noción de **sistema de referencia** es empleada para denotar el objeto de la modelización (Treuil, Drogoul y Zucker 2008). Esta doble distinción permite inferir que el modelo es algo distinto al sistema de referencia que constituye su objeto. Consecuentemente, conviene destacar la importancia de una vigilancia epistémica frente al riesgo que supone confundir y/o reducir el modelo a su objeto. El mundo es más de lo que podemos decir de él (Thompson 1987); análogamente, la complejidad real de un objeto desborda y excede sus posibilidades de modelización. Un modelo es una construcción racional siempre abierta, frágil y transitoria que se ve desafiada por lo real. Todo pensamiento crítico y reflexivo de la modelización debe alertar contra el riesgo que supone ontologizar un modelo, es decir, afirmar que el modelo es la realidad. Sostener que la realidad debe comportarse como un modelo o que éste refleja la realidad, supone abandonar el pensamiento racional. Confundir modelo y realidad es una forma de racionalización, expresa la pretensión de reducir la realidad a un sistema lógico coherente, negando o excluyendo todo lo que lo contradice (Morin 1982).

Además, una práctica crítica de la modelización implica afirmar que el objeto de la modelización -es decir, el sistema de referencia- no está dado positivamente en la realidad ni es directamente accesible a la observación (García 2006). Por el contrario, un sistema de referencia es construido por el modelizador a partir de ciertos interrogantes y objetivos, en cuya formulación y delimitación interviene el marco epistémico del científico, es decir, su ideología y sistema de valores desde la cual orienta su trabajo investigativo (Piaget y García 2008). Este componente axiológico y político es inherente a toda praxis modelizadora y, por lo tanto, es imposible de eliminar de la práctica científica (Rodríguez Zoya 2010).

La distinción conceptual entre modelo y sistema de referencia permite introducir algunos elementos para pensar una tipología de modelos científicos. Ver figura 1.

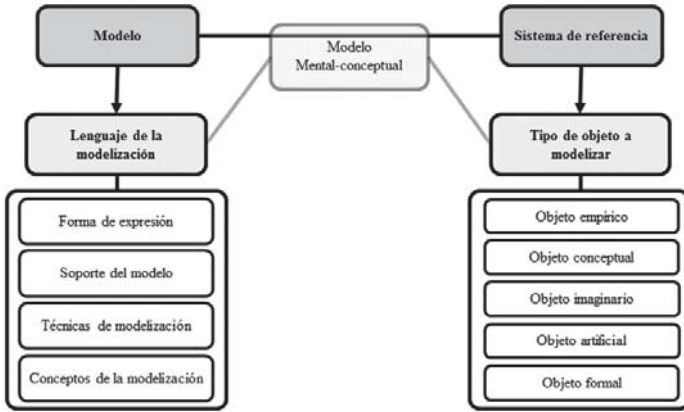


Figura 1. Elementos para una tipología de modelos científicos.
Elaboración propia.

Por un lado, podemos distinguir a los modelos en función de las características del sistema de referencia, es decir, del tipo de objeto a modelizar. Así, por ejemplo podemos concebir la posibilidad de modelizar distintas clases de objetos: fenómenos y procesos del mundo empírico, sistemas conceptuales como son las teorías científicas, objetos y procesos artificiales, imaginarios o formales. Por otro lado, la construcción de un modelo supone la elección de un determinado marco lingüístico (Carnap 1950) o, en términos más precisos, un lenguaje de la modelización. Este lenguaje refiere tanto a la forma en que se expresa el modelo como al soporte en el que se construye el mismo. Así, por ejemplo, un modelo de una casa puede expresarse en distintos soportes: en un plano, en una maqueta, en un dibujo de papel, en un diseño en la computadora. Así, un mismo modelo conceptual puede expresarse en distintos soportes, por ejemplo como una narración en lenguaje natural, como una ecuación matemática o como un programa informático. En cierto sentido, la elección de un lenguaje de la modelización delimita tanto el tipo de conceptos empleados para construir un modelo como las técnicas de modelización. En efecto, un modelo matemático tiene ciertas reglas y principios constructivos que difieren de un modelo arquitectónico o pictórico.

El punto crucial a retener es que todo modelo, independientemente del lenguaje de la modelización y del tipo de objeto a modelizar, supone siempre un modelo mental-conceptual. Modelizar es ante todo una praxis cognitiva que supone la construcción de una representación mental del objeto de la modelización. Entonces, un modelo es una construcción cognitiva elaborada por el modelizador. Por este motivo, Jean Louis Le Moigne, retomando a Paul Valéry, sostiene: “nosotros no razonamos más

que apoyándonos en modelos. Pero ¿de qué modo elaboramos los modelos sobre los cuales razonamos?” (Le Moigne 1990: 15). Modelizar supone construir en nuestra mente una representación. Posteriormente, este modelo mental podrá ser enunciado y verbalizado, es decir, expresado en lenguaje natural. Así, puede emplearse el concepto de esquematización, sugerido por Grize (2012), para señalar la formulación discursiva de un modelo mental. En efecto, el modelo mental-conceptual elaborado por el científico puede ser traducido a distintos lenguajes y expresado en diversos soportes: una ecuación, un programa informático, una maqueta, un diagrama. En cualquier caso, el modelo mental y su esquematización anteceden en su génesis y concepción a la construcción del modelo científico.

Tomando en consideración la noción de lenguaje de la modelización podemos distinguir dos grandes familias de modelos: los modelos no formales y los modelos formales. Los primeros son modelos expresados en lenguaje natural, es decir en el lenguaje empleado por los seres humanos en el mundo de la vida cotidiana. Podemos referirnos a este tipo de modelos como modelos discursivos. Una de las virtudes de los modelos discursivos es su flexibilidad dado que poseen mayor expresividad y riqueza descriptiva. Sin embargo, se trata de modelos respecto a los cuales es difícil valorar su coherencia interna.

Inversamente, los modelos formales son un tipo de modelos expresados en un lenguaje no natural, es decir, en un lenguaje artificial construido deliberadamente por el ser humano. El ejemplo típico de lenguaje formal es el de la lógica simbólica o la matemática. Los lenguajes de computación empleados para programar sistemas informáticos constituyen otro ejemplo de lenguaje formal. Este tipo de lenguajes tiene menor expresividad y riqueza descriptiva que el lenguaje natural, pero a diferencia de éste resulta más fácil valorar su rigor y coherencia.

En este campo podemos distinguir tres tipos de modelos formales. En primer lugar, los modelos matemáticos, habitualmente caracterizados como modelos basados en ecuaciones. Se trata de un tipo de modelos en donde prima el razonamiento deductivo y en los que es posible hallar una solución analítica. Ejemplos de este tipo de modelos son los expresados en ecuaciones diferenciales o en ecuaciones de diferencia. Un segundo tipo de modelo formal son los modelos estadísticos centrados en el análisis de relación entre variables y en la estimación de una probabilidad. Los modelos de regresión múltiple, o las ecuaciones estructurales constituyen un ejemplo de modelo estadístico, característico del enfoque ‘cuantitativo’ en la investigación social. Finalmente, los modelos computacionales constituyen un tercer tipo de modelo formal. Se trata de modelos expresados como un programa informático que puede ser ejecutado en la computadora. El uso intensivo de métodos computacionales para modelizar y simular procesos y fenómenos sociales se encuentra en el corazón de una corriente conocida con el nombre de ciencias sociales computacionales (Epstein 1999) o sociología computacional (Squazzoni 2012).

Ciertamente, en las ciencias sociales es más habitual trabajar con modelos discursivos que con modelos formales dado que a mayor parte de las teorías sociales se encuentran expresadas en lenguaje natural. Así, hay un predominio de teorías discursivas que sólo muy rara vez son traducidas, construidas o sometidas al test de la experiencia empírica a través de modelos formales. Sin dudas, los modelos estadísticos constituyen el tipo de modelo formal más habitual en la investigación social y se encuentran en el corazón de la metodología cuantitativa. Los modelos computacionales, de los que hablaremos a continuación constituyen una novedad que permite expandir el horizonte de la investigación social y repensar algunos de los problemas fundamentales de nuestras disciplinas.

La simulación como estrategia de investigación social

La idea de simulación alude a la posibilidad de representar un proceso que se desarrolla en el tiempo. Por lo tanto, la simulación implica pensar en términos de temporalidad. Dado que los sistemas sociales son sistemas históricos, y puesto que el comportamiento social varía a lo largo del tiempo, la posibilidad de representar la dinámica temporal de los procesos sociales es una cuestión de primer interés para las ciencias sociales. Sin embargo, vale la pena destacar que las ciencias sociales han tenido fuertes limitaciones metodológicas para desarrollar teóricas dinámicas de los procesos sociales (Sawyer 2005).

La solución típica consiste en diseños longitudinales lo que supone la posibilidad de efectuar sucesivas mediciones en el tiempo para un mismo conjunto de variables, lo que permite comparar las mediciones entre sí (Arnau Gras 1996). Los datos pueden construirse sobre las mismas unidades de análisis como es el caso de los estudios de panel o bien para una muestra de una población determinada, como sucede en los diseños longitudinales de cohorte. Otra alternativa son los diseños longitudinales de tendencias o las series temporales. En cualquier caso, un estudio longitudinal supone repetir una medición y construir datos en distintos momentos del tiempo. Otras alternativas, han sido la comparación histórica de casos con características similares o diferentes entre sí, enfoque metodológico destacado por la corriente institucionalista histórica (Pierson y Skocpol 2002; Thelen 1999). Sin embargo, estas perspectivas no se basan en la idea de simulación en la medida en que ésta implica la posibilidad de representar y reproducir un proceso que se desarrolla en el tiempo. Por esta razón, la simulación computacional constituye una metodología para el análisis de procesos sociales y los mecanismos que los producen (Gilbert 1998).

El filósofo de la ciencia Otto Neurath utilizó el término *ballunguen* para destacar que el lenguaje de la ciencia es necesariamente inexacto, una combinación de términos precisos propio del quehacer científico y otros más vagos e imprecisos provenientes del lenguaje común (Gómez 2008; Neurath 1983). Así, en el lenguaje de la vida cotidiana el término simulación se emplea para referirnos a la representación o imitación de algo. Habitual-

mente afirmamos que una persona “simula” para señalar que está fingiendo un comportamiento o un sentimiento que en realidad no es tal. Esta reflexión intuitiva permite destacar el carácter artificial de la simulación. Algo similar sucede con la representación teatral, los actores representan una situación que sabemos de hecho que no se corresponde con la situación real. Esto no impide que vivamos y experimentemos la representación teatral como verdadera, que nos emocionemos, riamos o lloremos junto a los personajes de la obra. La artificialidad que introduce la representación teatral no imposibilita reencontrarnos en el plano simbólico y emocional con los elementos más fundamentales de la condición humana: el amor, la muerte, el engaño, la mentira.

En la noción de artificialidad o, mejor aún, de sistema artificial (Simon 1973), reside la idea clave que introduce la simulación como estrategia de investigación: la posibilidad de crear de modo deliberado un proceso artificial para representar un proceso real. En otros términos, la simulación es la emulación del comportamiento en el tiempo de un sistema real por un sistema artificial (Treuil et al. 2008).

Los argumentos previos permiten elaborar la distinción entre el concepto de modelo y el de simulación, con el objetivo de precisar la noción de modelo de simulación. Un modelo puede ser conceptualizado como una representación abstracta y simplificada de un sistema de referencia, cuyo objetivo es mejorar el conocimiento de dicho sistema (Booch, Rumbaugh y Jacobson 2006; Rodríguez Zoya y Rodríguez Zoya 2013). Ahora bien, un determinado sistema de referencia puede ser descrito desde dos perspectivas complementarias: una descripción de estados y una descripción de procesos (Simon 1973). En el primer caso, se trata de representar la organización del objeto estudiado, es decir el sistema de relaciones que caracterizan su estructura en un momento determinado. En el segundo caso, se intenta representar “las hipótesis o reglas de evolución en el tiempo de un sistema de referencia” (Treuil et al. 2008:3). La distinción entre la descripción de estados y de procesos permite diferenciar los modelos estáticos los cuales brindan una representación de la estructura del sistema de referencia de los modelos dinámicos o comportamentales. Los modelos estáticos o estructurales privilegian el análisis de la organización del sistema; mientras que los modelos dinámicos o comportamentales privilegian la dinámica del sistema.

En estas coordenadas podemos precisar que un modelo de simulación computacional es un tipo de modelo dinámico que permite analizar la evolución temporal del sistema modelizado. La simulación computacional presupone un modelo formal, típicamente un modelo escrito en un lenguaje de programación y expresado como un programa informático. La ejecución del programa informático permita simular el proceso modelizado. En otros términos, un fenómeno social puede ser modelizado, en el sentido en que los agentes sociales y sus interacciones pueden ser representados en un programa informático. Este modelo puede ser simulado para representar el proceso social que hipotetizamos tiene

lugar en el mundo social (Gilbert 2007). Aquí reside el interés y la potencialidad que la simulación como estrategia de investigación ofrece a las ciencias sociales contemporáneas: la posibilidad de estudiar de modo sistemático y explícito la dinámica temporal de los procesos sociales y de analizar de modo integrado la continuidad y el cambio de los patrones de comportamiento social.

En el campo de la metodología de la investigación social, es habitual distinguir entre los enfoques cualitativos y cuantitativos (Alvira 1983; Bericat 1998). Mientras que la investigación cualitativa puede ser caracterizada como un enfoque centrado en casos, cuyo objetivo es la comprensión e interpretación de un fenómeno particular en un contexto delimitado; la investigación cuantitativa consiste en un enfoque centrado en variables, cuya meta es probar la correlación entre características de agentes individuales o colectivos. A diferencia de estas perspectivas, la simulación puede ser definida como un enfoque centrado en el análisis de procesos (Gilbert 1996).

Así, se postula que la virtud principal del uso de modelos computacionales en el campo de las ciencias sociales consiste en comprender los procesos sociales, algo que no puede ser abordado por modelos matemáticos y estadísticos. Por proceso social se entiende la dinámica temporal del comportamiento y la interacción social entre agentes heterogéneos que da lugar a la formación de comportamientos colectivos complejos: normas, instituciones, grupos, en una palabra, estructuras sociales (Gilbert y Doran 1994). Para expresarlo en otros términos, como enfoque metodológico, la simulación social plantea el modelado de entidades e interacciones a nivel micro social para generar, vía simulación computacional, procesos y estructuras macro-sociales (vínculo micro \rightarrow macro); y, correlativamente, aborda las consecuencias de tales estructuras sobre la acción social individual (vínculo macro \rightarrow micro) (Epstein 2006; Sawyer 2005). En síntesis, una de las pretensiones y promesas más importantes de la simulación social consiste en postularse, en el plano metodológico y empírico, como una vía para comprender el vínculo micro-macro, es decir, el vínculo dinámico o, mejor aún, dialéctico entre la acción social y la estructura, problema medular de las ciencias sociales contemporáneas y verdadero agujero negro de toda teoría social y enfoque sistémico.

Como estrategia de investigación, la simulación computacional reviste interés para la investigación social puesto que brinda la posibilidad de realizar 'experimentaciones virtuales', lo que equivale a ejecutar la simulación bajo distintas condiciones iniciales con el objetivo de explorar los procesos sociales emergentes. La noción de experimentación virtual puede ser precisada aún más mediante la siguiente definición: "la simulación es a un modelo dinámico, lo que la experimentación es a un sistema real" (Treuil et al. 2008:4). En efecto, la lógica experimental implica perturbar en condiciones de laboratorio un determinado objeto estudio. Se trata, desde luego, de una observación controlada puesto que el

investigador manipula a priori las variables independientes para comprender el funcionamiento del sistema observado. A diferencia de la experimentación en laboratorio, la simulación puede conceptualizarse como una actividad por la cual se perturba un modelo dinámico con ayuda de un dispositivo experimental informático denominado simulador (Treuil et al. 2008:5). El investigador puede controlar las condiciones de ejecución del modelo, manteniendo constante ciertos parámetros con la finalidad de explorar el funcionamiento del proceso social modelizado. En definitiva, de lo que se trata es de modelizar un fenómeno del mundo social y luego desarrollar experimentos sobre el modelo simulándolo, en lugar de hacerlo sobre el fenómeno real.

Así, la simulación permite testar hipótesis del tipo “que pasaría si” se produce un determinado cambio en el fenómeno social estudiado. Por ejemplo, la simulación social permitiría explorar que sucede si un grupo de actores se comporta de diferente manera en un determinado contexto, si se modifica una norma social, se introduce una nueva política pública, si se reduce la carga impositiva a los alimentos en un determinado porcentaje, si se gravan las transacciones financieras o si se modifican las reglas de los sistemas electorales, entre una lista por cierto infinita de hipótesis condicionales de interés para las ciencias sociales.

A diferencia de la experimentación de laboratorio [*in-vitro*] o sobre sistemas reales [*in-vivo*] (a menudo indeseables o imposibles de practicar en las ciencias sociales), la simulación permite experimentar sobre un modelo computacional [*in-silico*] (Epstein y Axtell 1996; Gilbert 2007). De este modo, la simulación computacional permite re-introducir la lógica del diseño experimental en ciencias sociales por una vía inédita que supera las limitaciones clásicas del control experimental. La simulación constituye una especie de laboratorio virtual que permite explorar los mecanismos fundamentales que generan el funcionamiento del fenómeno social modelado.

Con respecto a la relación entre los métodos computacionales y los métodos clásicos en ciencias sociales se afirma su carácter de complementariedad mutua. En efecto, los métodos computacionales no constituyen una anulación de los anteriores, sino una vía inédita de triangulación metodológica (Squazzoni 2009). En efecto, una de las potencialidades de la simulación computacional en ciencias sociales reside en la posibilidad de integrar distintos tipos de evidencia empírica de tipo cualitativo y cuantitativo en el seno de un modelo de simulación.

Es preciso reparar en una cuestión crucial, la simulación computacional sólo produce datos simulados, es decir, datos artificiales generados por el ordenador. Entonces, podemos preguntarnos ¿qué relación hay entre el comportamiento de un modelo de simulación y el comportamiento del fenómeno social estudiado? Este interrogante plantea uno de los mayores problemas a la metodología y epistemología de

la simulación computacional: la cuestión relativa a la validación de modelos computacionales (David 2009). En un sentido genérico, podemos apuntar que un modelo de simulación es validado cuando es capaz de reproducir el comportamiento del fenómeno real, es decir, cuando los datos producidos por el modelo son próximos a los datos observados (Amblard y Phan 2006). De este modo se plantea una primera forma de complementariedad entre la simulación y los métodos clásicos de investigación social, en la medida en que estos últimos pueden suministrar evidencia empírica que permita comparar los resultados de la simulación con el fenómeno bajo estudio.

Por otro lado, desde el punto de vista metodológico, un modelo de simulación es la expresión de un conjunto de hipótesis acerca de un proceso social. Por tanto, modelizar un fenómeno social implica plantear ciertas hipótesis razonables acerca de los agentes sociales involucrados en el fenómeno estudiado, sus formas de comportamiento y sus modos de interacción. La razonabilidad de las hipótesis en las que se sustenta el modelo implica que las mismas sean plausibles desde un punto de vista teórico o empírico. Son estas hipótesis las que van a ser codificadas como un programa informático susceptible de ser simulado. Los parámetros del modelo permiten definir las condiciones iniciales de una simulación y definen el experimento virtual que va a ser puesto a prueba. Por esta razón, resulta imprescindible contar con datos empíricos del fenómeno modelizado para poder calibrar los parámetros de un modelo de simulación. Nuevamente, las metodologías cualitativas y cuantitativas constituyen un recurso indispensable para la calibración empírica de modelos de simulación.

La relación entre teoría y simulación computacional

La simulación computacional es imposible sin teoría. Esta afirmación resulta plausible si comprendemos que todo modelo de simulación implica un modelo mental previo, como lo hemos expresado anteriormente. De este modo, la simulación traduce ciertas ideas teóricas y conceptuales que el modelizador tiene sobre el sistema de referencia. Ahora bien, estas ideas pueden ser tácitas o explícitas. En el primer caso, constituyen creencias o supuestos de carácter ideológico puesto que su carácter tácito impide la objetivación y reflexión crítica sobre las mismas. En el segundo caso, se trata de un sistema conceptual susceptible de ser expresado discursivamente y comunicado a otros. Sin dudas, dicho sistema conceptual puede formularse con diversos grados de rigor y precisión.

Ahora bien, el concepto de modelo no debe ser confundido con la teoría, aunque ambos se implican mutuamente. La relación entre la teoría y el modelo puede concebirse como el vínculo entre lo general y lo particular. En un sentido genérico, una teoría puede definirse como un sistema organizado de conceptos que tiene la pretensión de brindar inteligibilidad sobre un dominio de fenómenos específicos; mientras que un modelo “es una

instanciación de esa teoría para un sistema particular” (Treuil et al. 2008:2). Mantenemos deliberadamente un concepto suficientemente amplio y flexible de teoría sin plantear la posibilidad o necesidad de su formalización.

El punto crucial a destacar consiste en que no hay modelos genéricos mientras que pueden existir teorías de un alto nivel de generalidad. En efecto, un modelo supone un sistema de referencia que constituye su objeto. El modo en que se construye, delimita y da sentido a un sistema de referencia depende de la/s teoría/s empleadas para modelizarlo.

A este respecto, resulta de interés distinguir entre el concepto de modelo y meta-modelo. Mientras el primero fue definido como una representación abstracta y simplificada de un sistema de referencia, la noción de meta-modelo puede conceptualizarse del siguiente modo:

Un meta-modelo es una abstracción formal que define los "conceptos de modelización, sus propiedades y las relaciones existentes entre esos conceptos" de modo relativamente independiente al recorte de la realidad que forma parte del objeto de estudio (Rodríguez Zoya y Rodríguez Zoya 2013:25).

A partir de la definición introducida podemos decir que un meta-modelo constituye un modelo de modelos, es decir, un conjunto de elementos (conceptos, propiedades, relaciones) que permiten construir modelos. En términos más técnicos, un meta-modelo define la sintaxis del modelo (Treuil et al. 2008:8). Si los argumentos expuestos resultan plausibles, entonces se comprende fácilmente la distinción entre el concepto de meta-modelo y modelo⁷, así como los dos niveles a los que se aplican:

(1) El objeto del modelo es un recorte de la realidad empírica. Hay un vínculo directo, pero no inmediato ni evidente, entre el modelo y el dominio empírico bajo estudio que constituye el sistema de referencia. En efecto, el modelo intenta ser un instrumento de conocimiento de un objeto de investigación. En otros términos, el modelo se refiere siempre a un sistema particular, a un caso concreto.

(2) El objeto del meta-modelo es la estructura formal para la construcción de modelos vinculados con cierto dominio de fenómenos. En efecto, un meta-modelo no tiene alcance universal, sino que tiene un ámbito de validez acotado al campo problemático en el que se inscribe el estudio.

Los argumentos desarrollados permiten señalar una vía para pensar críticamente la relación entre la teoría social y la simulación computacional como estrategia de investigación en ciencias sociales, tal como se representa en la figura 2.

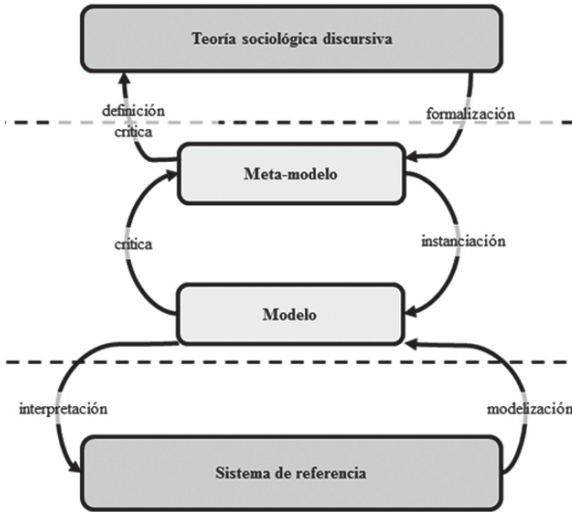


Figura 2. Utilidad de la noción de meta-modelo y modelo en la teoría social.

Adaptado de (Sibertin-Blanc, Roggero, et al. 2010)

Una teoría social discursiva, es decir formulada en lenguaje natural, es susceptible de ser formalizada y expresada como un meta-modelo. Este trabajo de formalización implica refinar y precisar la teoría, detectar inconsistencias, clarificar el alcance de los conceptos y sus relaciones, depurar las ambigüedades e inconsistencias del lenguaje natural. Un meta-modelo de una teoría social puede ser empleado para modelizar distintos casos de estudio, lo que conduce a delimitar y construir un sistema de referencia. El trabajo de modelización constituye por un lado, una instanciación del meta-modelo para un sistema de referencia particular; y por el otro, requiere de la producción de evidencia cualitativa y cuantitativa para calibrar el modelo y validarlo. El modelo es empleado como un instrumento para construir conocimiento del sistema de referencia, el testeo de hipótesis a través de la simulación permite no sólo aprender algo nuevo del objeto modelizado sino también efectuar una crítica y refinar el meta-modelo. Finalmente, la evolución del meta-modelo conlleva la posibilidad de efectuar una crítica a la teoría discursiva a partir del cúmulo de experiencias de modelización y simulación desarrolladas (Sibertin-Blanc, Roggero, et al. 2010).

El proceso que acabamos de describir constituye un circuito infinito que permite destacar el trabajo de modelización y simulación como un proceso de construcción de conocimiento en el cual se integran las teorías sociales discursivas, los métodos computacionales y la investigación em-

pírica. Este circuito de la modelización permite clarificar tres modos de relación entre la teoría y la simulación computacional:

- (1) Operacionalización computacional. Resulta factible desarrollar un programa de modelización de teorías sociales el cual consistiría en formalizar una teoría social construyendo un meta-modelo de la misma. La expresión computacional de la teoría coadyuvaría a refinar conceptualmente la teoría y valorar su coherencia.
- (2) Testeo de hipótesis y teorías. La traducción de teorías sociales en modelos de simulación social constituye una vía para testear hipótesis en un doble sentido. Por un lado, es factible modelizar un razonamiento teórico con la finalidad de probar su plausibilidad y testearlo en el marco de una simulación. Por el otro, el desarrollo de modelos de simulación calibrados empíricamente constituye una vía para la prueba de hipótesis.
- (3) Construcción de teoría y generación de hipótesis. La simulación también puede ser empleada para el desarrollo teórico en la medida que todo resultado de un modelo de simulación tiene que ser interpretado y puede suscitar una crítica del meta-modelo y de la teoría discursiva en la que se sustenta.

Reflexiones finales: elementos para una epistemología crítica de la simulación social

La simulación computacional constituye una metodología pertinente para la investigación social. Sin embargo, la simulación no puede ser reducida a una técnica ni concebida simplemente en el nivel instrumental que supone el desarrollo de modelos formales ejecutables en una computadora. La simulación constituye una praxis de carácter epistémico y social que permite construir conocimiento a través de la modelización y simulación de fenómenos sociales. Como toda praxis científica, la simulación no es una actividad neutral. Los valores del investigador, su ideología y su cosmovisión se ponen en juego en la concepción de un modelo, en la formulación de la pregunta y en la definición de los objetivos que permite construir el sistema de referencia a ser modelizado. La modelización es un tipo de práctica científica con significación política. En efecto, todo proceso de modelización se inscribe en un contexto histórico-social más amplio, razón por la cual no podemos concebir a los modelos como productos por fuera del contexto social, histórico y epistémico en el que son concebidos, contruidos y empleados como instrumentos prácticos para interpretar el mundo.

El mayor riesgo es reducir el concepto de modelo a una noción puramente instrumental que anule el lugar del sujeto modelizador, sus valores y el carácter político de su praxis. Pero este riesgo puede evitarse si apunta-

mos un concepto complejo de modelo que incluya reflexivamente al sujeto de conocimiento y permita destacar el carácter social e histórico de los modelos científicos. Ver figura 3.

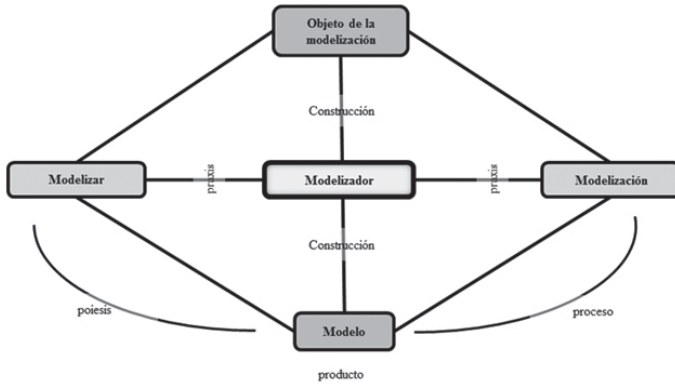


Figura 3. Concepto complejo de modelo científico.

Elaboración propia.

Hay que relacionar y distinguir el modelo con el proceso que lo produce, el modelo con el objeto de la modelización, el modelo con el sujeto modelizador, el modelo con el contexto histórico-social, el modelo con el contexto socio-cognitivo donde es concebido y construido y, finalmente, el modelo consigo mismo, es decir, el modelo en cuanto producto o resultado.

En estas coordenadas introductorias podemos profundizar nuestro análisis. El concepto de modelo tiene que ser pensado como sustantivo y como verbo modelizar, lo que plantea dos aristas distintas de análisis epistemológico. El modelo como sustantivo se asocia a la idea del modelo como producto y, por lo tanto, remite al análisis del resultado de un proceso productor, al examen del modelo cómo instrumento de conocimiento y, fundamentalmente, a considerar la organización de la estructura de un modelo. Por otro lado, el verbo modelizar se asocia con la noción de construcción y abre una vía de análisis epistemológico diferente que remite a la praxis modelizadora, al sujeto modelizador, al proceso práctico constructivo de modelización, al carácter productivo, es decir, poietico de la modelización. Ambos niveles de análisis son complementarios, no excluyentes y, conjuntamente necesarios para el estudio crítico de un modelo científico.

Estos razonamientos pueden ser precisados si concebimos la noción de modelo como un concepto de doble entrada: el modelo-producto y el modelo-proceso. El modelo-producto nos conduce al análisis de la estructura; el modelo-proceso, a la génesis. La unión de ambos nos lleva a

considerar la dialéctica de la génesis y la estructura de los modelos científicos. En consecuencia, toda epistemología crítica de la modelización tiene que reconocer el carácter continuo (proceso) y discontinuo (producto) de los modelos. Además, el proceso de modelización es un proceso productor y creador, cuyo resultado se cristaliza en una producción epistémica que conceptualizamos como modelo. Por lo tanto, el modelo es un producto organizado por el proceso de la modelización y, en consecuencia, el modelo es una estructura organizada que lleva en sí la génesis de su proceso productor. El modelo no es independiente de su historia, sino que condensa la organización del proceso que lo produce. Más aún, es una parte de un todo (el proceso) que lleva inscrita al todo. Un modelo condensa hologramáticamente la organización de la estructura social y cognitiva de la comunidad científica que lo produce. Un modelo se construye a través de un proceso; pero a lo largo de dicho proceso se conciben múltiples modelos, sucesivas reelaboraciones de la idea que el modelo encarna. Sin embargo, el modelo resultante, el modelo-producto, es Uno, lo único de lo que tenemos testimonio una vez que el proceso de construcción ha concluido. Por lo tanto, el proceso de la modelización es recursivo, cada uno de los múltiples modelos construidos a lo largo de dicho proceso es un producto que se convierte en productor y regenerador del proceso que lo produce.

Concluimos afirmando que el concepto de modelo desarrollado en este trabajo amplía los horizontes metodológicos de las ciencias sociales. En cuanto metodología, la simulación computacional constituye una vía para para el testeo y la construcción de teorías dinámicas sobre los procesos sociales, así como una forma de experimentación virtual para explorar el funcionamiento de los fenómenos modelizados. El enfoque epistemológico crítico conduce a inscribir reflexivamente al sujeto en el proceso de modelización y a explicitar los componentes axiológicos y políticos de la praxis modelizadora.

Notas

¹ En la década de 1960 el científico argentino Oscar Varsavsky desarrolló un trabajo original y pionero proponiendo las primeras aplicaciones de métodos computacionales al estudio de sistemas sociales, lo que denominó el “método de la experimentación numérica” (Varsavsky 1982; Varsavsky et al. 1971). Es interesante destacar que el trabajo de Varsavsky y colaboradores se adelantó casi tres décadas al movimiento de simulación social desarrollado en el mundo anglosajón y europeo continental desde mediados de la década de 1990. La muerte temprana de Varsavsky en 1976 y la eclosión continental de las dictaduras latinoamericanas significaron el truncamiento del pensamiento latinoamericano de modelado y simulación social. Carlos Domingo (2004), discípulo de Varsavsky continuó esta línea de trabajo en la Universidad de Los Andes, Venezuela, en donde ha contribuido a formar una nueva generación de científicos comprometidos con esta línea de pensamiento, entre quienes se destaca Oswaldo Terán. Véase, por ejemplo, (Terán, Johanna, Magdiel y Manuel 2007). Por otro lado, una línea de investigación desarrollada por el Grupo de Estudios Interdisciplinarios sobre Complejidad y Ciencias Sociales en la Universidad de Buenos Aires, dirigido por Leonardo G. Rodríguez Zoya, se propone recuperar y actualizar el pensamiento y la metodología de modelado y simulación de sistemas sociales propuesta por Varsavsky.

² El concepto de espacio controversial es empleado en el sentido sugerido por el modelo de espacios controversiales desarrollado por Oscar Nudler (2002, 2004, 2009).

³ En esta línea cabe destacar el programa de investigación interdisciplinaria liderada por el sociólogo Pascal Roggero y el informático Christophe Sibertin-Blanc de la Universidad de Toulouse, tendiente a articular el pensamiento complejo, los sistemas complejos y los métodos de simulación computacional basados en agentes. La colaboración interdisciplinaria de sociólogos e informáticos ha permitido la formalización de una teoría sociológica, la Sociología de la Acción Organizada (Crozier y Friedberg 2010) y el desarrollo de una herramienta sociológica llamada SocLab (Sociology Laboratory). SocLab es un software de simulación basado en agentes que permite modelar organizaciones sociales y estudiar dinámicamente procesos de negociación, capacidades de acción, poder y estabilidad organizacional (Sibertin-Blanc, Adreit, et al. 2010).

⁴ El concepto de sistema de creencias científicas alude al conjunto organizado creencias, representaciones, valores y actitudes de un grupo (comunidad científica, disciplina o ciencia) en relación con los múltiples aspectos y dimensiones de sus prácticas de construcción de conocimiento. Un sistema de creencias científica incluye componentes axiológicos, ontológicos, epistémicos, lógicos, metodológicos, antropológicos, éticos y políticos. Para un tratamiento en profundidad, véase (Rodríguez Zoya 2013).

⁵ El concepto de ideología es empleado en el sentido de la noción de marco epistémico elaborada por Piaget y García (2008) en Psicogénesis e Historia de la Ciencia. Un marco epistémico funciona como “una ideología que condiciona el desarrollo ulterior de la ciencia. Dicha ideología funciona como obstáculo epistemológico que no permite desarrollo alguno fuera del marco conceptual aceptado” (2008:234).

⁶ Hay versión electrónica en línea. Ver (Minsky 1965a).

⁷ La distinción entre modelo y meta-modelo puede comprenderse por analogía en

relación con la distinción entre lenguaje-objeto y metalenguaje. El lenguaje objeto es, por ejemplo, el lenguaje empleado por una comunidad de hablantes. El metalenguaje es el lenguaje empleado para hablar del lenguaje objeto. Así, el lenguaje-objeto constituye un primer nivel L1 y el metalenguaje un segundo nivel L2. Por ejemplo: " todos los metales se dilatan con el calor " es verdadero ". En este enunciado " todos los metales se dilatan con el calor " es parte del lenguaje-objeto de la física, y " es verdadero " es una expresión que pertenece al metalenguaje de la disciplina. Análogamente, podemos comprender el concepto de modelo en el nivel que el lenguaje-objeto y el de meta-modelo en términos del metalenguaje, es decir, un lenguaje para construir modelos. La analogía planteada tiene un fin didáctico, puesto que la noción de metalenguaje tiene un sentido técnico al que no referimos aquí. En su raíz técnica, la distinción entre lenguaje-objeto y metalenguaje pertenece a la teoría de la jerarquía de los lenguajes formales desarrollada por Bertrand Russell, en la introducción al *Tractatus Logico-Philosophicus* de Wittgenstein. El objetivo de esta teoría es evitar las paradojas semánticas, ilustrada en la conocida paradoja del cretense Epiménides que afirmaba " Todos los cretenses son mentirosos ": ¿ Es esa afirmación verdadera? Si es verdadera en realidad es falsa, y si es falsa en realidad es verdadera, ya que quien la enunciaba era el mismo cretense.

Bibliografía

Alvira, F. (1983), "Perspectiva cualitativa-perspectiva cuantitativa en la metodología sociológica", en *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, vol. 22, pp. 53-75.

Amblard, F. y Phan, D. (2006), *Modélisation et simulaton multi-agents applications pour les Sciences de l'Homme et de la Société*, Lavoisier, Paris.

Armatte, M. (2006), "La Noción de Modelo en las Ciencias Sociales", en *Empiria. Revista de Metodología de Ciencias Sociales*, vol. 11, pp. 33-70.

Arnau Gras, J. (1996), *Diseños longitudinales aplicados a las ciencias sociales y del comportamiento*, Limusa, México D.F.

Axelrod, R. (2004), *La complejidad de la cooperación. Modelos de cooperación y la colaboración basada en los agentes*, Fondo de Cultura Económica, Buenos Aires.

Bachelard, G. (1972), *La formación del espíritu científico*, Siglo XXI, Buenos Aires.

Barceló, J. (1993), "Computer-Based Techniques for the Representation of Automatic Problem-Solving in Archaeology", en Torsten Madsen Jens Andresen, Irwin Scollar (Ed.), *Computing the Past. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology* (pp. 239-250), Aarhus University Press, Aarhus.

Bericat, E. (1998), *La integración de los métodos cuantitativos y cualitativos en la investigación social*, Ariel, Barcelona.

Booch, G., Rumbaugh, J. y Jacobson, I. (2006), *El lenguaje unificado de modelado*, Pearson, Madrid.

Carnap, R. (1950), "Empiricism, semantics, and ontology", en *Revue Internationale de Philosophie*, vol. 4, pp. 20-40.

Crozier, M. y Friedberg, E. (2010), *L'acteur et le système*, Seuil, Paris.

David, N. (2009), "Validation and Verification in Social Simulation: Patterns and Clarification of Terminology", en Flaminio Squazzoni (Ed.), *Epistemological Aspects of Computer Simulation in the Social Sciences* (pp. 117-129), Springer, Berlin.

Díaz Córdova, D. M. (2003), *Modelos de simulación en antropología y arqueología*. Tesis de Licenciatura en Antropología, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.

Domingo, C. (2004), *La Sociedad Flexible*, Instituto de Estadística Aplicada

y *Computación*, Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Universidad de los Andes, Mérida.

Doran, J. (1973), "Explanation in archaeology - a computer experiment", en Colin Renfrew (Ed.), *The explanation of culture change*, Gerald Duckworth & Co Ltd, London.

Ídem. (1979), "Fitting models and studying process: some comments on the role of computer simulation in archaeology", en *Bulletin of the Institute of Archaeology*, University of London, n° 16, pp. 81-93.

Epstein, J. M. (1999), "Agent-Based Computational Models And Generative Social Science", en *Complexity*, vol. 4, n° 5, pp. 41-60.

Ídem. (2006), *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling*, Princeton Studies in Complexity, Princeton.

Epstein, J. M. y Axtell, R. (1996), *Growing Artificial Societies. Social Science from the Bottom Up*, MIT Press, Washington DC

García, R. (2006), *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*, Gedisa, Barcelona.

Gilbert, N. (1996), "Simulation as a research strategy", en Ulrich Mueller Klaus Troitzsch, Nigel Gilbert & James Doran (Ed.), *Social science microsimulation* (pp. 448-454), Springer, Berlin.

Ídem (1998), *The Simulation of Social Processes*. Paper presented at the SMAGET Conference, 6-8 October, Clermont-Ferrand, France.

Ídem (2007), *Agent-Based Models. Quantitative Applications in the Social Sciences*, SAGE Publications, London.

Gilbert, N. y Conte, R. (1995), *Artificial Societies: The Computer Simulation of Social Life*, Taylor & Francis e-Library, London.

Gilbert, N. y Doran, J. (1994), *Simulating Societies: The Computer Simulation of Social Phenomena*, UCL Press, London.

Gómez, R. (2008), *Otto Neurath: Lenguaje, ciencia y valores. La incidencia de lo político*. California State University, Estados Unidos. Los Ángeles.

Grize, J.-B. (2012), "Logique naturelle et représentations sociales", en Denise Jodelet (Ed.), *Les représentations sociales* (pp. 170-186), Puf, Paris.

Hempel, C. G. (1979), *La explicación científica. Estudios sobre filosofía de la ciencia*, Paidós, Buenos Aires.

Herrera, A. O., Scolnick, H. D., Chichilnisky, G., Gallopin, G. C., Hardoy, J. E., Mosovich, D., et al. (2004), *¿Catastrofe o Nueva Sociedad? Modelo Mundial Latinoamericano 30 años despues*, Instituto Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo, Buenos Aires.

Heymann, D., Perazzo, R. y Zimmermann, M. (2009), *Modelos económicos de múltiples agentes. Una aproximación de la economía desde los sistemas complejos*, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.

Ilgén, D. R. y Hulin, C. L. (2000), *Computational Modeling of Behavior in Organizations: The Third Scientific Discipline*, American Psychological Association, Washington DC.

Le Moigne, J.-L. (1990), *La Modélisation des systèmes complexes*, Dunod, Paris.

Minsky, M. (1965a), *Matter, Mind and Models*. Recuperado de <http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/6119/AIM-077.pdf?sequence=2>

Ídem. (1965b), *Matter, Mind and Models*. Paper presented at the International Federation of Information Processing Congress, Vol 1. pp. 45-49.

Morin, E. (1982), *Ciencia con Conciencia, Anthropos*. Editorial del Hombre, Barcelona.

Ídem. (1984), *Sociología*, Tecnos, Madrid.

Nagel, E. (1978), *La estructura de la ciencia: problemas de la lógica de la investigación científica*, Paidós, Barcelona.

Naishtat, F. (2009), "Refocalización historiográfica y cambio de régimen de historicidad. La controversia de la representación del pasado y las catástrofes históricas contemporáneas", en Oscar Nudler (Ed.), *Espacios controversiales. Hacia un modelo de cambio filosófico y científico* (pp. 51-84), Miño y Dávila, Buenos Aires.

Neurath, O. (1983), "Pseudorationalism of falsification", en Otto Neurath (Ed.), *Philosophical Papers 1913-1946* (pp. 121-131), Reidel, Boston, United States of America.

Nudler, O. (2002), "Campos controversiales y progreso en filosofía", en Manuscrito. *Revista Internacional de filosofía*, vol. 25, n° 2, pp. 337-352.

Ídem (2004), "Hacia un modelo de cambio conceptual: espacios controversiales y refocalización", en *Revista de Filosofía*, vol. 29, n° 2, pp. 7-19.

Ídem (2009), *Espacios controversiales. Hacia un modelo de cambio filosófico y científico*, Miño y Dávila, Buenos Aires.

Piaget, J. y García, R. (2008), *Psicogénesis e historia de la ciencia*, Siglo XXI, DF, México.

Pierson, P. y Skocpol, T. (2002), "Historical Institutionalism in Contemporary Political Science", en Helen Milner y Ira Katznelson (Eds.), *Political Science: The State of the Discipline*, Norton, New York.

Rodríguez Zoya, L. (2010), *Complejidad de la relación entre ciencia y valores. La significación política del conocimiento científico* Documentos de Jóvenes Investigadores N° 19, Recuperado de <http://webiigg sociales.uba.ar/iigg/textos/documentos/ji19.pdf>

Ídem (2013) *El modelo epistemológico del pensamiento complejo. Análisis crítico de la construcción de conocimiento en sistemas complejos*. Tesis de Doctorado en Sociología y Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires y Universidad de Toulouse, Toulouse.

Rodríguez Zoya, L. y Rodríguez Zoya, P. (2013), *Modelo de espacios controversiales y estudios de la complejidad en América Latina: Metodología de análisis, propuesta de formalización y aplicación al campo de la complejidad* Documentos de Jóvenes Investigadores N° 37, Recuperado de <http://webiigg sociales.uba.ar/iigg/textos/documentos/dji37.pdf>

Roggero, P. (2006), *De la complexité en sociologie: évolutions théoriques, développements méthodologiques et épreuves empiriques d'un projet sociologique*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sociologie, Université de Toulouse 1, Toulouse.

Roggero, P. y Sibertin-Blanc, C. (2008), "Quand des sociologues rencontrent des informaticiens : essai de formalisation des systèmes d'action concrets", en *Nouvelles Perspectives en Sciences Sociales*, vol. 3, n° 2, pp. 41-81.

Sawyer, K. (2005), *Social Emergence: Societies As Complex Systems*, Cambridge, New York.

Schelling, T. (1969), "Models of Segregation", en *American Economic Review, Papers and Proceedings*, vol. 59, n° 2, pp. 488-493.

Ídem (1971), "Dynamic Models of Segregation", en *Journal of mathematical Sociology*, vol. 1, pp. 143-186.

Schutz, A. (1962), *El problema de la realidad social*, Amorrortu, Buenos Aires.

Sibertin-Blanc, C., Adreit, F., Chapron, P., El Gemayel, J., Mailliard, M., Roggero, P., et al. (2010), "Compte-rendu d'une recherche interdisciplinaire entre sociologues et informaticiens: de la sociologie de l'action organisée au logiciel SocLab", en *Technique et Science Informatiques*, vol. 29, n° 8-9, pp. 1081-1115.

Sibertin-Blanc, C., Roggero, P., Adreit, F., Chapron, P., El Gemayel, J., Maillard, M., et al. (2010), *Une formalisation de la sociologie de l'action organisée: méta-modèle, simulation et étude analytique*. Institut de Recherche en Informatique de Toulouse, Université de Toulouse, Francia.

Simon, H. (1973), *Las ciencias de lo artificial*, A.T.E., Barcelona.

Squazzoni, F. (2009), *Epistemological Aspects of Computer Simulation in the Social Sciences*, Springer, Berlin.

Ídem (2012), *Agent-Based Computational Sociology*, Wiley, Singapore.

Terán, O. y Domingo, C. (1997), "Simulación de Cambios Estructurales y Análisis de Escenarios", en *Revista Economía*, n° 13, pp. 191-228.

Terán, O., Johanna, A., Magdiel, A. y Manuel, J. (2007), "Characterising Emergence of Landowners in a Forest Reserve", en *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* vol. 10, n° 36, pp. 1-24.

Tesfatsion, L. (2002), "Agent-based computational economics: growing economies from the bottom up", en *Artificial life*, vol. 8, n° 1, pp. 55-82.

Thelen, K. (1999), "Historical Institutionalism in Comparative Politics", en *Annual Review of Political Science*, vol. 2, pp. 369-404.

Thompson, W. I. (1987), "Las implicaciones culturales de la nueva biología", en J.; Bateson Lovelock, G.; Margulis, L.; Atlan, H.; Varela F.; Maturana H.; et al. (Ed.), *GAIA. Implicaciones de la nueva biología* (pp. 11-34), Editorial Kairós, Barcelona.

Treuil, J.-P., Drogoul, A. y Zucker, J.-D. (2008), *Modélisation et simulation à base d'agents*, Dunod, Paris.

Varsavsky, O. (1982), *Obras Escogidas*, Centro Editor de América Latina, Buenos Aires.

Varsavsky, O., Calcagno, A. E., Ibarra, J., Barbieri, J. d., Naon, E., Nuñez del Prado, A., et al. (1971), *América Latina. Modelos Matemáticos*, Editorial Universitaria, Santiago de Chile.

Wallerstein, I. (1996), *Abrir las ciencias sociales. Informe de la Comisión Gulbenkian para la reestructuración de las ciencias sociales*, Siglo XXI, México.

* **

Recibido: 10.09.2013

Aceptado: 12.03.2014