

El interés del modelado y la simulación computacional para las ciencias sociales: repensando la complejidad de la relación entre teoría, epistemología y método.

Rodríguez Zoya, Leonardo.

Cita:

Rodríguez Zoya, Leonardo (2013). *El interés del modelado y la simulación computacional para las ciencias sociales: repensando la complejidad de la relación entre teoría, epistemología y método*. VII Jornadas de Jóvenes Investigadores. Instituto de Investigaciones Gino Germani, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.

Dirección estable: <https://www.aacademica.org/000-076/227>

ARK: <https://n2t.net/ark:/13683/esgz/Hw9>

Instituto de Investigaciones Gino Germani

VII Jornadas de Jóvenes Investigadores

6, 7 y 8 de noviembre de 2013

Leonardo G. Rodríguez Zoya

IIGG-UBA, CONICET, CPC

Leonardo.rzoya@gmail.com

Eje 9: “Teorías. Epistemologías. Metodologías”

**El interés del modelado y la simulación computacional para las ciencias sociales:
repensando la complejidad de la relación entre teoría, epistemología y método**

1. Introducción

Los conceptos de modelo y simulación constituyen nociones extrañas para el quehacer investigativo de las ciencias sociales argentinas y latinoamericanas. Sin embargo, 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; Tesfatsion, 2002), sociología (Gilbert y Conte, 1995; Gilbert y Doran, 1994), arqueología (Doran, 1973, 1979) y ciencia política (Axelrod, 2004).

El presente trabajo tiene por objetivo analizar la relación teoría-epistemología-método a partir de la idea de modelo de simulación computacional, 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 (sección 2), se analiza en qué consiste la simulación como estrategia metodológica para la investigación en ciencias sociales, atendiendo particularmente a la relación entre los métodos computacionales con los métodos cualitativos y cuantitativos (sección 3). Tercero, 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 brindan algunos elementos para una epistemología crítica y reflexiva de la simulación computacional.

2. 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 Shutz (1962), Ernest Nagel (1978) y Carl Hempel (1979) a algunos de sus interlocutores más vivaces y lúcidos. En este espacio controversial¹, 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. La apertura cultural hacia la metodología de modelización y simulación no supone en ningún caso una

¹ El concepto de espacio controversial es empleado en el sentido sugerido por el modelo de espacios controversiales desarrollado por Oscar Nudler (2002, 2004, 2009).

pretensión de matematización de lo social ni mucho menos aún la adopción de una perspectiva fisicalista del mundo humano.

En oposición al prejuicio o, mejor aún, la pre-noción en sentido durkheimiano que sostiene que la modelización en ciencias sociales constituye 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). Más aún, la modelización ofrece nuevas posibilidades para un trabajo colectivo de carácter verdaderamente interdisciplinario (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 creencias² o ideología³, 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 de Argentina 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.

² 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).

³ 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).

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)⁴.

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

⁴ Hay versión electrónica en línea. Ver (Minsky, 1965a)

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.

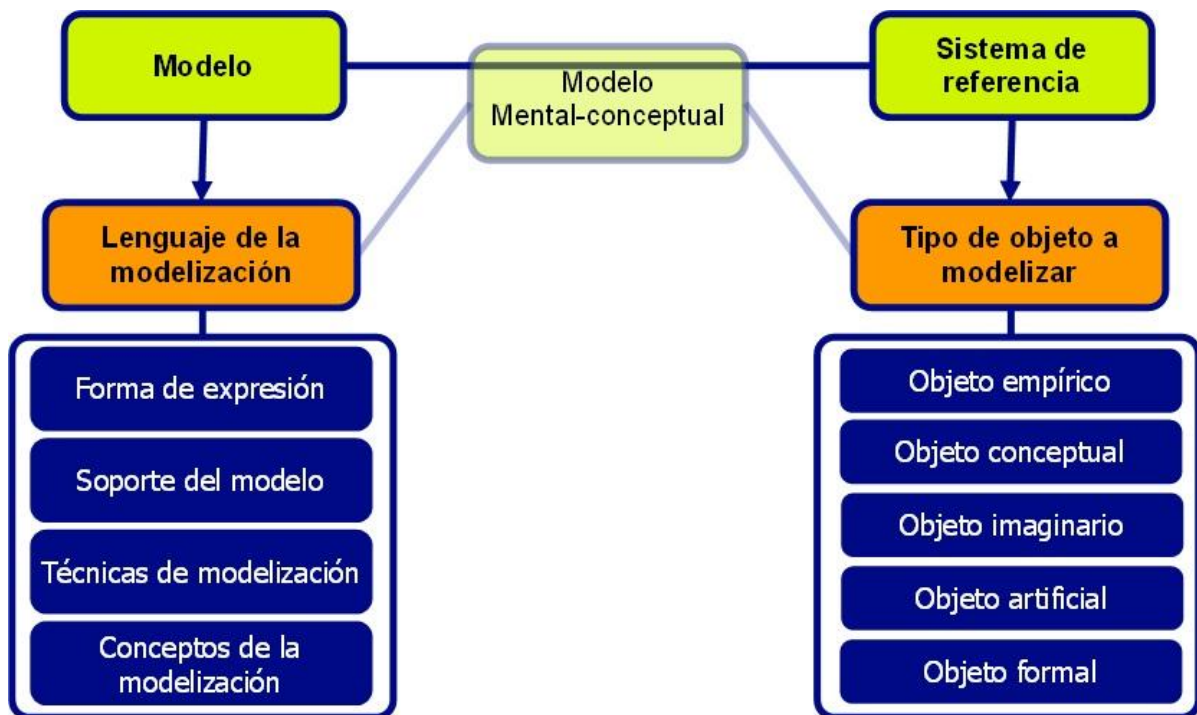


Figura 1. Elementos para una tipología de modelos científicos

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 informática. 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, p. 15). Modelizar es ante todo 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. Posteriormente, 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 es 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.

3. 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 teorías 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 en 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 del institucionalismo histórico (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).

En el lenguaje de la vida cotidiana el término simulación se emplea para referirnos a la representación o imitación de algo que no es. Habitualmente empleamos afirmamos que una persona “simula” para referirnos a 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, que riámos o lloremos junto a los personajes de la obra. La artificialidad que introduce la representación teatral no impide 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 (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, p. 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 → macro); y, correlativamente, aborda las consecuencias de tales estructuras sobre la acción social individual (vínculo macro → 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 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, p. 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, p. 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 sí” 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, si se modifica una norma social, se introduce una nueva política pública, 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 en las ciencias sociales), la simulación permiten 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. 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.

4. 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, todo modelo de 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, p. 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"⁵ de modo relativamente independiente al recorte de la realidad que forma parte del objeto de estudio (Rodríguez Zoya y Rodríguez Zoya, 2013, p. 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, p. 8). Si los argumentos expuestos resultan plausibles, entonces se podrá comprender fácilmente la distinción entre el concepto de meta-modelo y modelo⁶, 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.

⁵ Cf. (Treuil et al., 2008, p. 8).

⁶ 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 L_1 y el metalenguaje un segundo nivel L_2 . Pongamos un breve 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 modelo en el mismo nivel que el lenguaje-objeto y el meta-modelo en términos del metalenguaje, es decir, un lenguaje para construir modelos.

Aclaremos que 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.

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.

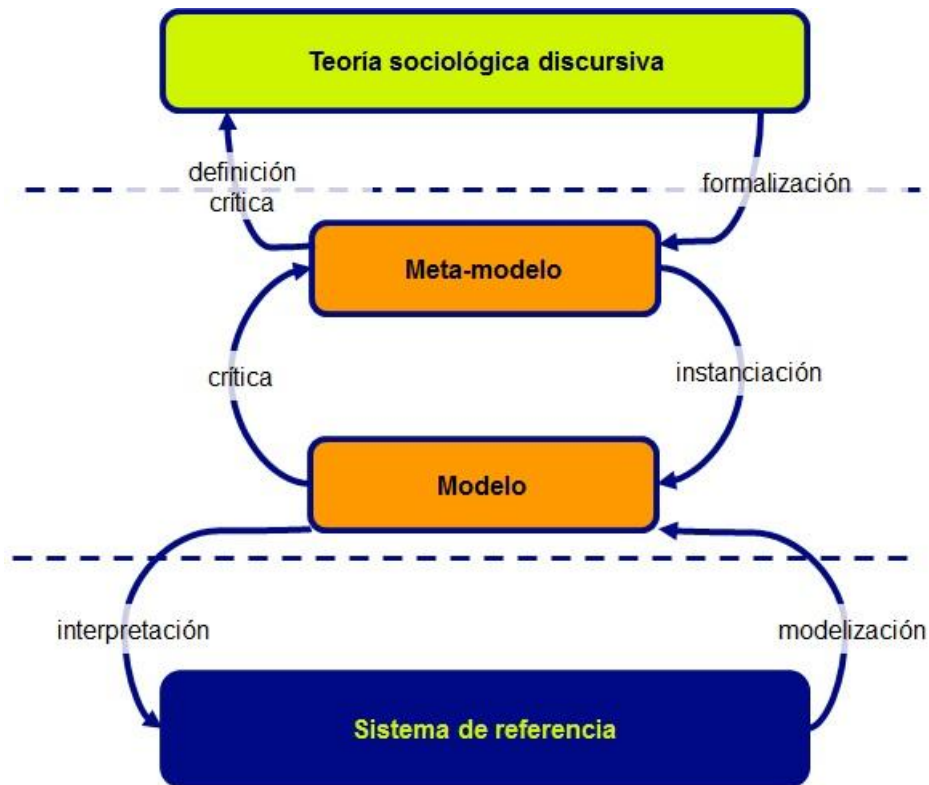


Figura 2. Utilidad de la noción de meta-modelo y modelo en la teoría social.

Adaptado de (Sibertin-Blanc 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 en 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 de la teoría discursiva a partir del cúmulo de experiencias de modelización y simulación desarrolladas.

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 empírica. 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 permitiría refinar conceptualmente la teoría y valorar su coherencia.
- (2) *Testeo de hipótesis y teorías*. La traducción de teorías sociales en modelos de simulación social constituya 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 testarlo 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.

5. 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, construidos 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 apuntamos 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.

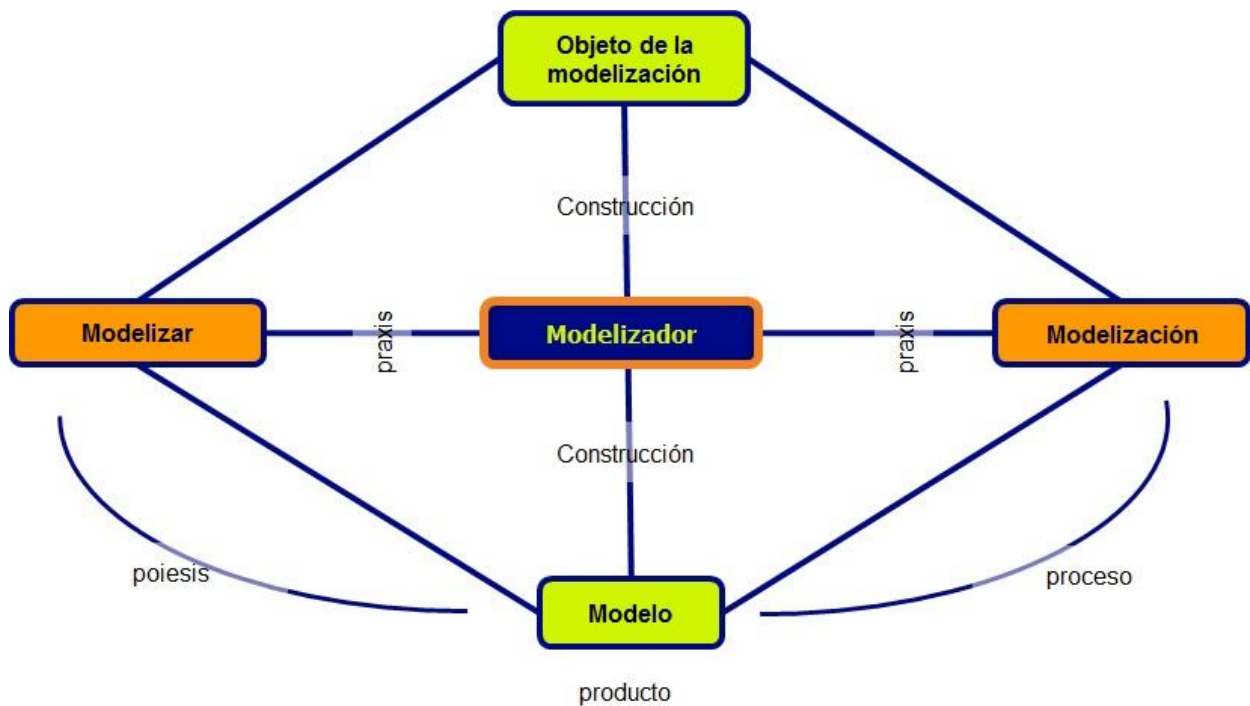


Figura 3. Concepto complejo de modelo científico.

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 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.

Concluamos 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 proceso 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.

6. Bibliografía

- Alvira, Francisco. (1983). Perspectiva cualitativa-perspectiva cuantitativa en la metodología sociológica. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, 22, 53-75.
- Amblard, Frédéric, y Phan, Denis. (2006). *Modélisation et simulation multi-agents applications pour les Sciences de l'Homme et de la Société*. Paris: Lavoisier.
- Armatte, Michel. (2006). La Noción de Modelo en las Ciencias Sociales. *Empiria. Revista de Metodología de Ciencias Sociales*, 11, 33-70.
- Arнау Gras, Jaume. (1996). *Diseños longitudinales aplicados a las ciencias sociales y del comportamiento* (1º ed.). D.F., México: Limusa.
- Axelrod, Robert. (2004). *La complejidad de la cooperación. Modelos de cooperación y la colaboración basada en los agentes*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- Bachelard, Gastón. (1972). *La formación del espíritu científico* (2º ed.). Buenos Aires: Siglo XXI.
- Bericat, Eduardo. (1998). *La integración de los métodos cuantitativos y cualitativos en la investigación social*. Barcelona: Ariel.
- Carnap, Rudolf. (1950). Empiricism, semantics, and ontology. *Revue Internationale de Philosophie*, 4, 20-40.
- Díaz Córdova, Diego Martín (2003). *Modelos de simulación en antropología y arqueología*. Licenciatura en Antropología, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Doran, Jim. (1973). Explanation in archaeology - a computer experiment. En Colin Renfrew (Ed.), *The explanation of culture change*. London: Gerald Duckworth & Co Ltd.
- Doran, Jim. (1979). Fitting models and studying process: some comments on the role of computer simulation in archaeology. *Bulletin of the Institute of Archaeology, University of London*(16), 81-93.
- Epstein, Joshua M. (1999). Agent-Based Computational Models And Generative Social Science. *Complexity*, 4(5), 41-60.
- Epstein, Joshua M. (2006). *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling*. Princeton: Princeton Studies in Complexity.
- Epstein, Joshua M., y Axtell, Robert. (1996). *Growing Artificial Societies. Social Science from the Bottom Up*. Washington DC MIT Press.
- García, Rolando. (2006). *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona: Gedisa.
- Gilbert, Nigel. (1996). Simulation as a research strategy. En Ulrich Mueller Klaus Troitzsch, Nigel Gilbert & James Doran (Ed.), *Social science microsimulation* (pp. 448-454). Berlin: Springer.

- Gilbert, Nigel. (1998). *The Simulation of Social Processes*. Paper presented at the SMAGET Conference, 6-8 October, Clermont-Ferrand, France.
- Gilbert, Nigel. (2007). *Agent-Based Models. Quantitative Applications in the Social Sciences*. London: SAGE Publications.
- Gilbert, Nigel, y Conte, Rosaria. (1995). *Artificial Societies: The Computer Simulation of Social Life*. London: Taylor & Francis e-Library.
- Gilbert, Nigel, y Doran, Jim. (1994). *Simulating Societies: The Computer Simulation of Social Phenomena*. London: UCL Press.
- Grize, Jean-Blaise. (2012). Logique naturelle et représentations sociales. En Denise Jodelet (Ed.), *Les représentations sociales* (7° ed., pp. 170-186). Paris: Puf.
- Hempel, Carl G. (1979). *La explicación científica. Estudios sobre filosofía de la ciencia* (1° ed.). Buenos Aires, Argentina: Paidós.
- Heymann, Daniel, Perazzo, Roberto , y Zimmermann, Martín. (2009). *Modelos económicos de múltiples agentes. Una aproximación de la economía desde los sistemas complejos*. Le Moigne, Jean-Louis. (1990). *La Modélisation des systèmes complexes*. Paris: Dunod.
- Minsky, Marvin. (1965a). Matter, Mind and Models. Recuperado de <http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/6119/AIM-077.pdf?sequence=2>
- Minsky, Marvin. (1965b). *Matter, Mind and Models*. Paper presented at the International Federation of Information Processing Congress, Vol 1. pp. 45-49.
- Morin, Edgar. (1982). *Ciencia con Conciencia* (1984, 1° ed.). Barcelona: Anthropos. Editorial del Hombre.
- Morin, Edgar. (1984). *Sociología* (1995, 1° ed.). Madrid: Tecnos.
- Nagel, Ernest. (1978). *La estructura de la ciencia: problemas de la lógica de la investigación científica* (3° ed.). Barcelona: Paidós.
- Naishtat, Francisco. (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). Buenos Aires: Miño y Dávila.
- Nudler, Oscar. (2002). Campos controversiales y progreso en filosofía. *Manuscrito. Revista Internacional de filosofía*, 25(2), 337-352.
- Nudler, Oscar. (2004). Hacia un modelo de cambio conceptual: espacios controversiales y refocalización. *Revista de Filosofía*, 29(2), 7-19.
- Nudler, Oscar. (2009). *Espacios controversiales. Hacia un modelo de cambio filosófico y científico* (1° ed.). Buenos Aires: Miño y Dávila.

- Piaget, Jean, y García, Rolando. (2008). *Psicogénesis e historia de la ciencia*. DF, México: Siglo XXI.
- Pierson, Paul, y Skocpol, Theda. (2002). Historical Institutionalism in Contemporary Political Science. En Helen Milner y Ira Katznelson (Eds.), *Political Science: The State of the Discipline*. New York: Norton.
- Rodríguez Zoya, Leonardo. (2010). Complejidad de la relación entre ciencia y valores. La significación política del conocimiento científico. Vol. Documentos de Jóvenes Investigadores N° 19, Instituto de Investigaciones Gino Germani, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires. (pp. 80). Recuperado de <http://webiigg.sociales.uba.ar/iigg/textos/documentos/ji19.pdf>
- Rodríguez Zoya, Leonardo. (2013). *El modelo epistemológico del pensamiento complejo. Análisis crítico de la construcción de conocimiento en sistemas complejos*. Doctorado, Universidad de Buenos Aires y Universidad de Toulouse, Toulouse.
- Rodríguez Zoya, Leonardo, y Rodríguez Zoya, Paula. (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 Vol. Documentos de Jóvenes Investigadores N° 37, Instituto de Investigaciones Gino Germani, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires.
- Sawyer, Keith. (2005). *Social Emergence: Societies As Complex Systems*. New York: Cambridge.
- Schutz, Alfred. (1962). *El problema de la realidad social* (2º, 1º reimpresión, 2003 ed.). Buenos Aires, Argentina: Amorrortu.
- Sibertin-Blanc, Christophe, Roggero, Pascal, Adreit, Françoise, Chapron, Paul, El Gemayel, Joseph, Maillard, Matthias, . . . Vautier, Claude. (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, Herbert. (1973). *Las ciencias de lo artificial*. Barcelona: España.
- Squazzoni, Flaminio. (2009). *Epistemological Aspects of Computer Simulation in the Social Sciences*. Berlin: Springer.
- Squazzoni, Flaminio. (2012). *Agent-Based Computational Sociology*. Singapore: Wiley.
- Tesfatsion, Leigh. (2002). Agent-based computational economics: growing economies from the bottom up. *Artificial life*, 8(1), 55-82.
- Thelen, Kathleen. (1999). Historical Institutionalism in Comparative Politics. *Annual Review of Political Science*, 2, 369-404.

- Thompson, William Irwin. (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* (3ª, 1995 ed., pp. 11-34). Barcelona: Editorial Kairós.
- Treuil, Jean-Pierre, Drogoul, Alexis, y Zucker, Jean-Daniel. (2008). *Modélisation et simulation à base d'agents*. Paris: Dunod.
- Wallerstein, Immanuel. (1996). *Abrir las ciencias sociales. Informe de la Comisión Gulbenkian para la reestructuración de las ciencias sociales* (9º, 2006 ed.). México: Siglo XXI.