

# 14

## La investigación mediante simulación social multiagente

Francisco J. Miguel y Samer Hassan

### Introducción

El presente capítulo constituye una introducción a la simulación social, concebida como una herramienta al servicio de la investigación sociológica. Se presentan al lector las posibilidades de la simulación social mediante sistemas multiagentes, dentro del conjunto más amplio de métodos de simulación asistidos por ordenador. Se profundiza acerca de en qué consisten los modelos multiagentes y los elementos que los constituyen (entornos, agentes y reglas). Se ofrece además una guía práctica para orientar la elaboración del trabajo de modelado y simulación. Finalmente se facilitan al lector los recursos disponibles en la web para que pueda avanzar por su cuenta en el conocimiento de las técnicas de modelado y simulación a partir de esta lectura introductoria.

### 14.1. La simulación computacional como metodología de investigación

Según la actual concepción semántica de las teorías científicas, la representación y explicación de fenómenos sociales en CC.SS. implica la construcción de modelos explicativos utilizando en cualquier caso algún tipo de *sistema simbólico*. En la mayor parte de las ocasiones se trata de representaciones verbales, lo que sus-

cita diversas cuestiones relevantes: ¿Cómo utilizar tales representaciones para estudiar sus implicaciones (especialmente, en relación con observaciones de la realidad distintas de las que dieron origen a los modelos teóricos verbalizados)?, ¿cómo analizar sus posibles inconsistencias conceptuales o evaluar su validez interna?, ¿cómo generalizar mediante inferencias tales teorizaciones hipotéticas?

Algunos modelos explicativos van más allá de la representación verbal y se expresan mediante ecuaciones matemáticas, lo que facilita las tareas de análisis de su consistencia, su generalización y su justificación empírica (contrastación). Esto, de nuevo, suscita interesantes cuestiones epistemológicas y metodológicas: ¿Cómo manejar tales sistemas de ecuaciones cuando son analíticamente intratables debido a su extrema complejidad? ¿cómo tratar con representaciones formales matemáticas de fenómenos que implican relaciones no lineales, o altamente sensibles a condiciones puntuales o contextuales? Habitualmente la solución pasa por 1) utilizar un conjunto de asunciones fundamentales del modelo extremadamente simplificadas, primando la manejabilidad matemática sobre la plausibilidad sociológica, al tiempo que 2) se defiende epistemológicamente la naturaleza esencialmente reduccionista y simplificada de cualquier modelo que represente un sistema.

Sin embargo, cabe hacer notar que estar de acuerdo con el segundo principio epistemológico no implica necesariamente realizar el primer tipo de operación reduccionista, pues el uso de un modelo matemático no es la única alternativa a los modelos verbales (Ostrom, 1988). Una tercera forma de representar y obtener comprensión de un fenómeno social es mediante la construcción y puesta en funcionamiento de un sistema que simule sus propiedades, mecanismos, dinámica y resultados, esto es lo que se conoce como “sociedad artificial” o “simulación social” (en adelante SS). Si el sistema simulador se construye y ejecuta en un dispositivo informático electrónico (bien sea un ordenador personal, o una red de cientos de ellos) se puede hablar de modelos de simulación social mediante ordenador.

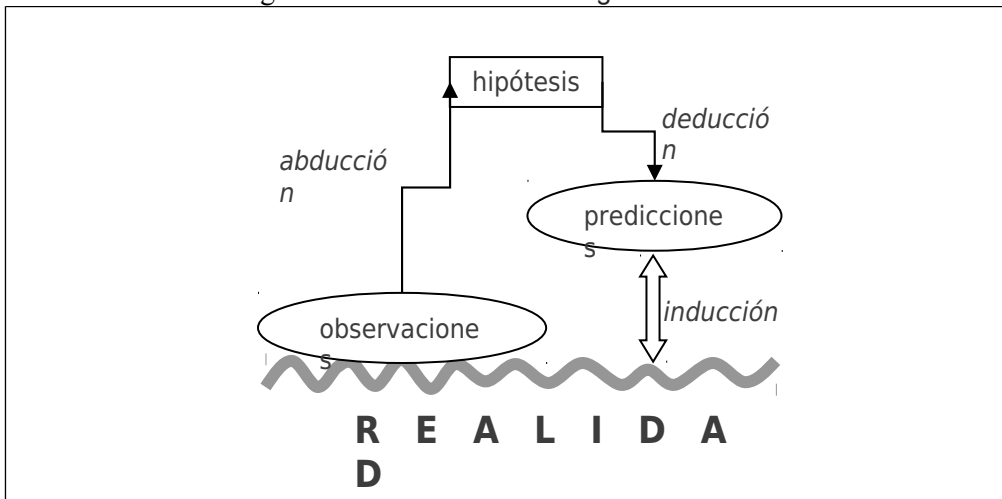
La lógica para desarrollar estos modelos es similar a la utilizada en el desarrollo de modelos estadísticos. A partir de la observación de fenómenos propios de un sistema social se construye una representación del mismo, en forma de modelo matemático (e.g., red), estadístico (e.g., ecuación de regresión) o informático (modelo de simulación). A partir de la observación del “comportamiento” del modelo, y de la comparación de sus “resultados” con observaciones empíricas del sistema social, se atribuye un nivel de validez al modelo (dependiendo del tipo de representación: “análisis” para modelos matemáticos, “estimación” para modelos estadísticos, o “ejecución” para modelos informáticos). A partir de los resultados obtenidos se pueden realizar modificaciones del modelo (inclusión/exclusión de variables independientes no significativas, o modificaciones del código informático, según sea el caso) y generar nuevos “resultados” de forma recursiva hasta que no se alcance ninguna mejora en términos de ajuste. A partir de la comparación del nivel de validez o ajuste empírico entre diversos modelos o versiones del mismo modelo, se toma una decisión sobre cuál representa de forma más justificada los fenómenos sociales que se intentan representar. El resultado del proceso es la descripción/pu-

blicación del modelo: en el caso de un modelo estadístico, el conjunto de coeficientes de regresión, o en el caso de un modelo informático, el código informático en sí mismo, o bien una representación formal de los algoritmos utilizados. En ambos casos es preciso aportar los correspondientes indicadores de ajuste empírico.

Por tanto, la simulación social puede considerarse una metodología de investigación, similar en cuanto a su lógica a otras modalidades de método científico en general, ya que consiste en:

- 1) formalizar teorías complejas sobre determinados procesos sociales (inferencia abductiva),
- 2) llevar a cabo experimentos a partir de la formalización construida (inferencia deductiva),
- 3) observar la generación de resultados emergentes de la formalización (inferencia inductiva).

Figura 14.1 Proceso de investigación científica



Cuadro 14.1. Etapas del proceso de investigación científica

MODELO GENERAL	MEDIANTE SIMULACIÓN
OBSERVACIONES	Conocimiento experto observacional o teórico
Abducción	Especificar / Verificar / Depurar / Ampliar un modelo
HIPÓTESIS	Modelo (código informático)
Deducción	Simulación (ejecución del modelo en condiciones iniciales experimentales)
PREDICCIONES	Conjunto de datos generados
Inducción	Contrastación empírica de la validez externa del modelo

La especificidad propia de la simulación social (SS) es que las hipótesis explicativas toman la forma de código, o “modelo de simulación”, que puede ser ejecutado en un sistema informático. Tal especificidad puede ser descrita brevemente como: ejecutar repetidamente un programa informático que replica un sistema social, modificando de forma planificada y sistemática sus parámetros iniciales mientras se registran los resultados de tal simulación, y comparar tales resultados con observaciones relevantes de ciertos indicadores del sistema objeto de estudio. Aunque existe diversidad de usos para las simulaciones informáticas, en el presente capítulo se considera como utilidad fundamental de la simulación social el desarrollo de teoría social dentro de un proceso de investigación. La mayor parte de la comunidad de investigadores sociales practicantes de SS consideran su principal utilidad la de evaluar la validez o calidad interna de las hipótesis explicativas, a diferencia de lo que ocurre dentro de la comunidad de ingeniería en la que se considera su principal utilidad la predicción de escenarios futuros. Las principales excepciones a esta distribución se puedan encontrar en las disciplinas demográficas, económicas, la investigación comercial y organizacional, que priorizan el uso predictivo. Citando a Arroyo & Hassan (2007), “[La simulación social] es una alternativa metodológica para avanzar en el conocimiento sociológico con vocación integradora, puesto que posibilita la articulación de teoría y empíria al permitir la realización de experimentos para verificar hipótesis, examinar supuestos o comprobar la veracidad y coherencia de los marcos teóricos.”

## 14.2. La simulación social computacional: definición, orígenes y modalidades históricas

Para comenzar caracterizando convenientemente la simulación computacional, conviene aclarar la distinción entre modelización y simulación. El proceso de modelado implica la transcripción a un formalismo computacional de la descripción

conceptual de los mecanismos que gobiernan o rigen el comportamiento de un sistema real. Una modelización en sentido computacional es simplemente un conjunto de líneas de código informático en alguno de los lenguajes de programación disponibles; cada vez que tal código se ejecute realmente en un sistema informático generará una simulación. La simulación es un proceso que permite aproximarse al conocimiento del funcionamiento de un sistema real más allá de su mera representación pero sin alcanzar a sustituirlo, ni pretenderlo. Se propone así una definición instrumental, esto es, la simulación computacional como una metodología de investigación y también como una estrategia de mejora e intensificación de la calidad de las prácticas de investigación. En este sentido, Shannon indicó en 1975 que se puede entender la simulación como “el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos para el funcionamiento del sistema”. La simulación social computacional no es sino un caso particular de simulación, en la que 1) el modelo es ejecutable en un sistema informático, y 2) el objeto modelado y simulado es un sistema social que genera fenómenos sociales.

El presente capítulo mencionará la simulación social en dos sentidos:

- 1) una variante metodológica particular del proceso de investigación social general,
- 2) la ejecución de un modelo computacional concreto con determinados parámetros o valores iniciales. Se dedicará especial atención a una de las diversas modalidades históricas de la primera acepción mencionada: a la metodología de investigación social utilizando simulación social “basada en agentes” -o “multiagente” (SSMA).

El estudio de procesos sociales mediante su modelado y posterior simulación se ha estado realizando desde hace siglos. Curiosamente, uno de los principales objetivos y estímulos iniciales del desarrollo de la simulación por ordenador y la inteligencia artificial en general fue el juego del ajedrez, tratado por Newell y Simon (1972); que en realidad no es a su vez más que una simulación física correspondiente a la modelización de un fenómeno social, la batalla entre dos ejércitos, con orígenes documentados que se remontan hasta antes del siglo VI. Sin embargo, las aportaciones iniciales consideradas más relevantes para la actual SS se centran en el desarrollo de las ecuaciones diferenciales (s. XVIII) y, algo más tarde, los procesos estocásticos. De hecho, el origen de las modalidades actuales de simulación social puede reconocerse en el desarrollo durante la primera mitad del siglo XX de diversas áreas de la matemática aplicada que permiten representar interacciones sociales y procesos de decisión en el contexto de estructuras formalizadas, como por ejemplo la teoría matemática de los juegos de estrategia, la de autómatas celulares o la de redes sociales. Como aportación genérica y diferencial de tales desarrollos matemáticos a la actual SS asistida por ordenador cabe destacar el hecho de que estas “nuevas” orientaciones matemáticas simulan sistemas dinámicos que evolucionan en el tiempo en pasos discretos. Aunque existen también ejemplos precursores de simulaciones sociales *físicas* (por parte de Irving Fisher en 1893, o Bill Phillips en 1949), el desarrollo tecnológico más relevante para la SS ha sido el desarrollo

de la tecnología de máquinas computadoras digitales desde 1940, incluyendo recientes avances en tecnología de programación por parte de las ciencias de la computación (orientada-a-objetos, distribuida, lenguajes de alto-nivel) y la inteligencia artificial.

Cuatro son las modalidades históricas de simulación social computacional reconocidas ampliamente por la literatura: la simulación de flujos poblacionales (System Dynamics, SD), la simulación de flujos de sucesos (Stochastic Processes, SP), la simulación de comportamiento individual interactivo (Cellular Automata, CA) y la simulación de sistemas de interacción basada en múltiples agentes (Multi-agent based Systems, MABS).

- *(SD) DINÁMICA DE SISTEMAS:* Esta aproximación, surgida en la década de 1960, permite la modelización y simulación por ordenador de cualquier sistema que pueda representarse mediante ecuaciones diferenciales, esto es, cualquier sistema cuya dinámica se conozca previamente. La “interacción” en tales sistemas es modelizada como proceso que afecta a sujetos o elementos considerados como un todo, como poblaciones con flujos demográficos gobernados por el sistema de ecuaciones que define y determina el sistema.
- *(SP) PROCESOS ESTOCÁSTICOS:* Con la aparición de los ordenadores se desarrollaron elevadas capacidades de cálculo aplicadas a procesos que tienen comportamientos agregados con efectos en diversos niveles (simulación multi-nivel o procesos con indeterminaciones en los tiempos de ejecución (simulación de colas). En este caso, la “interacción” en el sistema tiene lugar entre los eventos que se suceden, no entre los individuos.
- *(CA) AUTÓMATAS CELULARES:* Un espacio matemático (p.ej., una cuadrícula regular) donde cada célula posee, en cada momento, un estado discreto seleccionado de entre un número finito de estados posibles permite simular diversos fenómenos sociales. En un CA cada célula tiene una “vecindad” constituida por un conjunto finito de células en su cercanía inmediata y tiene igualmente “conciencia” del estado propio y de cada una de sus células vecinas. Tras iniciarse la simulación, para cada paso discreto de tiempo, el estado de cada célula se actualiza mediante una función de transición basada únicamente en el estado actual de la célula y el de sus vecinas. El ejemplo clásico de esta técnica de simulación es el llamado “juego de la vida” de Conway en el que cuatro reglas de comportamiento muy simples gobiernan un sistema de autómatas celulares que simula un complejo comportamiento agregado similar a la vida de una sociedad de organismos complejos que interaccionan entre sí. La conjunción de esta perspectiva y la teoría matemática de los juegos de estrategia permite plantear y estudiar problemas sociales mediante la construcción, puesta en marcha y análisis, de sociedades artificiales, formadas por un número de autómatas celulares en interacción. Ejemplos clásicos de tales estudios son la emer-

gencia de entidades políticas como imperios o alianzas a partir de la agregación de otras menores por Axelrod en 1995, o el voto por mayoría de Capcarrere en 1996.

- *(MAS) SISTEMAS MULTIAGENTE*: En la década de 1990 se desarrolla una nueva aproximación dentro de la Inteligencia Artificial (IA): la llamada “IA distribuida”, “inteligencia social” o “de enjambre”. Mientras que el objetivo de la IA *clásica* fue imitar el funcionamiento del cerebro humano, la nueva IA *distribuida* pretende resolver los problemas a los que se enfrenta desarrollando entidades autónomas e interdependientes que generan “inteligencia colectiva” a partir de la interacción entre elementos simples. La aplicación de esta nueva perspectiva a la simulación social permite la creación de sistemas de interacción de numerosos *agentes* autónomos en cuanto a sus objetivos, así como con capacidades cognitivas y comunicativas ampliadas. Una definición conceptual de agente de software comúnmente aceptada es “*un programa informático autocontenido que puede controlar sus propias acciones, basado en sus percepciones del entorno*”. Se considera que los agentes son entidades AIRP, esto es: *A) autónomos* (pueden operar sin el control directo de humanos u otros agentes), *I) interactivos* (con habilidad social para relacionarse con su entorno y/o otros agentes), *R) reactivos* (perciben su entorno y responden en consecuencia), y *P) proactivos* (pueden tomar la iniciativa, con comportamiento basado en objetivos). Otras características propias de los agentes en sistemas MAS es que tienen: conocimiento local (perciben únicamente su entorno más próximo), percepción subjetiva y racionalidad limitada, capacidad de ser programados para simular procesos de adaptación, de aprendizaje, planificación sofisticada y lenguaje entre ellos. Los agentes pueden representar entidades individuales o colectivas humanas (grupos, familias, empresas, naciones, etc.), así como cualquier objeto físico animado o inanimado, e incluso es posible, y conveniente en determinadas investigaciones, modelizar como agentes ciertas entidades inmateriales como enunciados, creencias, deseos, normas, reglas de comportamiento, e incluso vínculos entre agentes.

Se suele considerar que las primeras modalidades históricas de simulación (SD, SP) resultan, en general, más apropiadas para modelizar sistemas centralizados, dominados más bien por leyes físicas o protocolos rígidos que por procesos de información e interacción, mientras que las más recientes modalidades (CA, MAS) ofrecen mayor potencial y flexibilidad para representar fenómenos caracterizados por un alto grado de localización y distribución, como son las redes sociales humanas. A pesar de ello, algunos desarrollos actuales desdibujan esta tradicional diferenciación: existen herramientas de simulación capaces de modelizar según una u otra lógica (Netlogo), incluso utilizarlas conjuntamente en un mismo modelo (Anylogic) y algunos autores, como Izquierdo, Galán y otros, proponen precisamente la doble

modelización como metodología para incrementar la calidad del proceso de investigación.

### **14.3. Elementos de los modelos sociales multiagente (MSMA): entorno, agentes, reglas**

Los modelos sociales multiagente (MSMA) generan una “sociedad virtual” de agentes autónomos intercomunicados entre sí, cada uno con cierto conocimiento y habilidades, coordinándose durante la ejecución del programa, o simulación.

Se han sugerido diferentes esquemas generales para diseñar simulaciones sociales (entre otros autores, Moss, Gilbert, Troitzsch, Terna), como por ejemplo el esquema ERA (Environment-Rules-Agents) propuesto en 2000 por Gilbert y Terna. La propuesta ERA mantiene en diferentes niveles conceptuales el entorno, los agentes y las reglas. El “entorno” modeliza el contexto físico o medioambiental de la simulación, mediante un conjunto de “reglas” propias que gobiernan la dinámica de los atributos generales del espacio físico del modelo. Los “agentes” modelizan individuos (o entidades decisorias socialmente relevantes según la investigación en curso) mediante sus atributos particulares, y sus comportamientos son generados mediante “reglas” específicas.

#### *14.3.1. Entorno*

En el caso de la simulación social, los agentes deben operar dentro de entornos sociales y físicos. Así, pueden operar en una red local de interacción con otros agentes e incluso dentro de un sistema institucionalizado de restricciones normativas (e.g. convenciones culturales). De igual forma, es posible incorporar a un MSMA recursos naturales animados e inanimados, artefactos producidos y utilizados por agentes, o integrarlo con sistemas de información geográfica (GIS). La ubicación espacial permite simular procesos en los que la conectividad o vecindario entre agentes resulta relevante, según la presunción habitual de que aquellos agentes cercanos pueden interactuar o influenciarse mutuamente de forma más intensa que los más alejados espacialmente. Tales modelos se suelen inspirar en técnicas relacionadas con la modelización mediante autómatas celulares.

#### *14.3.2. Agentes*

Como se ha visto, tanto los individuos sociales como el entorno, que impone restricciones a los individuos y a sus acciones, están representados por programas informáticos (*agentes software*) que se integran y coordinan dentro de un sistema



de inteligencia artificial distribuida basado en la lógica de la “inteligencia colectiva”. Estos agentes son entidades “inteligentes” ya que en general pueden:

1) percibir el estado del entorno (*inputs*), 2) almacenar *inputs* y acciones pasadas (memoria), 3) planificar acciones futuras, 4) llevar a cabo acciones sobre el entorno y 5) en conjunto, generar resultados (*outputs*).

Esto permite caracterizar los MSMA, en contra del resto de modalidades históricas mencionadas y en función de las capacidades propias de sus unidades mínimas y fundamentales, los agentes. Así, una SSMA suele implicar, de forma general:

- A. Crear múltiples agentes de diversos tipos dentro del mismo modelo,
- B. Dotarles de heterogeneidad tanto en cuanto a sus atributos individuales como a sus reglas de decisión y acción,
- C. Gobernar sus acciones sin necesidad de racionalidad perfecta u optimización,
- D. Ubicar las acciones e interacciones dentro de un medio (cada agente en un espacio geográfico o en una red social con una topología concreta),
- E. Permitir la movilidad de los agentes, incluyendo constricciones del entorno,
- F. Representar los mecanismos de aprendizaje de reglas de comportamiento de los agentes,
- G. Representar el contenido y los procesos cognitivos de los agentes,
- H. Modelizar directamente las interacciones entre agentes (sea mediante transferencias de datos agente-agente o con formas simplificadas de lenguaje),
- I. Reconocer la emergencia o generación de resultados y comportamientos agregados.

La puesta en funcionamiento, o ejecución, de un MSMA con un conjunto concreto de parámetros y valores iniciales tendrá como consecuencia la generación de resultados que emergen de la interacción entre los elementos del sistema SSMA. Precisamente, la experimentación social mediante SSMA permite estudiar la emergencia de comportamiento agregado o colectivo, tanto en la forma de estado de equilibrio del sistema (comportamiento cíclico), como de comportamiento caótico del sistema social. De hecho ambos tipos de emergencia se presentan frecuentemente en el mismo modelo de simulación. Es más, un SSMA permite estudiar la retroalimentación del sistema social emergente, esto es, su efecto sobre los propios agentes, lo que en la literatura sociológica se ha denominado “*reflexive and situated knowledge*” según Giddens (1984), “*reflexivity*” según Woolgar (1988), o “*second-order emergence*” según Gilbert (1995).

### 14.3.3. Reglas

La modelización de procesos sociales puede fundamentarse en la idea básica de “*disparo de mecanismos*” mediante reglas, según una perspectiva cercana a la lla-

mada sociología analítica. Esta fundamentación sociológica puede encontrarse detallada en los trabajos de Hedström y Bearman (2009), Hedström y Ylikoski (2010), Macy *et al.* (2011) y Manzo (2011) mientras que el concepto, epistemológicamente aceptado y fiable de *mecanismo*, defendido por Bunge (2004) y por Hedström (2010) permite fundamentar la construcción de sistemas SSMA juntamente con el concepto específico de *causación generativa* implicado. La idea consiste en que las acciones de los agentes son activadas (“disparadas”) por ciertas condiciones/situaciones específicas. Cada pareja <condición, acción> es una regla, y cada agente dispone de una serie de reglas que rigen su comportamiento. Ejemplos de reglas en distintos contextos: <“Si el agente está rodeado de agentes de distinto color”, “la satisfacción del agente decrece un punto”>, <“Si no hay comida cerca del agente”, “moverse aleatoriamente”>, <“Si el agente cumple 21 años”, “el agente intenta elegir pareja entre sus conocidos”>. Esta visión de los agentes es simplificadora, pero se puede llegar a crear agentes cognitivos con reglas tan complejas como requiera la investigación, e incluso capaces de modificar sus propias reglas.

Las reglas de producción correspondientes a la dinámica de un sistema simulado sustituyen la función “generatriz” que, en otras modelizaciones cuantitativas, cumplen los sistemas de ecuaciones de diferencias, o los pesos de los nodos de redes neuronales, o los coeficientes de modelos econométricos, de análisis multivariante o de ecuaciones estructurales. Sin embargo, como destaca Lozares (2004), las representaciones mediante modelos de simulación acostumbran a ser más similares a los procesos del mundo real que los provenientes de otros modelos matemáticos, y cabe añadir, que sus elementos generativos resultan *cualitativamente* más comprensibles y más *cercanos* a hipótesis teóricas para el científico social. No es preciso el uso de ecuaciones, y por tanto ni resulta necesaria la definición previa de variables independiente y dependiente, ni se incurre en ningún tipo de circularidad matemáticamente irresoluble.

#### 14.4. Modelado y simulación social: Una guía práctica

En un intento de ofrecer una guía para la práctica de esta modalidad metodológica, diversos autores han presentado el proceso de investigación social mediante modelos multiagente como un protocolo o secuencia de etapas. A continuación se repasan, siguiendo a Antunes *et al.* (“*e\*plora methodology*”, 2007) y a Gilbert (2008: 30-46), las principales etapas, insistiendo especialmente en las preguntas pertinentes en cada una de ellas. El protocolo aquí presentado debe entenderse como una idealización de las prácticas habituales en la comunidad académica dedicada a SSMA. De forma similar a la investigación científica en general, algunas de estas etapas, en realidad, se llevan a cabo de forma paralela y la mayoría de ellas se realizan recursivamente con saltos a etapas anteriores conforme el proceso de modelado, de simulación y de contrastación avanza, se refina y se amplía.

#### *14.4.1. Formular la pregunta fundamental y “lluvia de ideas” inicial*

Conviene comenzar el proceso pensando en cómo capturar los elementos esenciales del sistema social o fenómeno que se está intentando modelar: ¿Cuál es la pregunta fundamental a la que el modelo pretende aportar explicaciones? ¿Cómo va a ayudar la simulación a comprender mejor la cuestión estudiada? ¿Qué es lo que se va a modelizar, una situación o un proceso? ¿Qué nivel de precisión o detalle son relevantes para comprender el problema? ¿Qué se incluirá en el modelo y qué quedará excluido? En los estudios sociales interdisciplinarios una primera fase conjunta de aportaciones libres ayuda a establecer las pautas de trabajo del equipo, mejorando en cualquier caso la calidad de la modelización. En los estudios unipersonales, las aportaciones pre-teóricas o “metafóricas” promueven la apertura del proceso mental fundamental que debe guiar las primeras fases del procedimiento de modelización, esto es, la inferencia abductiva.

#### *14.4.2. Relacionar las ideas con la teoría*

Conocer las teorías previas que hacen referencia al fenómeno o situación que se desea simular: ¿Cuál es el fenómeno a explorar? ¿Qué teorías específicas existen para explicarlo? ¿Qué teorías generales existen para explicar el comportamiento de posibles elementos del modelo? ¿Qué es central y qué es accesorio en la explicación?, ¿y en la modelización? ¿Qué teorías ayudan a entender en qué forma se “genera” el (macro)resultado observado? Ciertos conjuntos de teorías de las ciencias sociales son más adecuados para fundamentar simulaciones sociales en su modalidad “dinámica de sistemas” T<sup>as</sup> de carácter estructuralista, holista o idealista, mientras que otras son especialmente adecuadas para la modalidad “multiagente” T<sup>as</sup> de carácter materialista, individualista o generativa. Un ejemplo de las últimas pueden ser algunas teorías decisionales, como el paradigma BDI de Bratman (1987) que fundamenta psicológica y filosóficamente los comportamientos de los agentes en base a un subconjunto de sus creencias (representaciones de la realidad), sus deseos (motivaciones) y sus intenciones (objetivos).

#### *14.4.3. Construir teóricamente el modelo formal (hipótesis)*

Se trata, a continuación, de desarrollar las hipótesis sobre cómo construir el sistema de simulación (en términos de sus elementos y relaciones) así como los intercambios de energía e información entre los distintos elementos y los mecanismos o reglas que rigen tales cambios de estado. A) ¿Cuáles son los agentes del sistema? ¿Qué atributos tienen? ¿Existen tipos de agentes? ¿Qué reglas se aplican a cada tipo?. B) ¿Cuál es el ambiente o base física del sistema? ¿Qué elementos contiene? ¿Pueden considerarse agentes? ¿Qué supuestos afectan a esta base física o ambien-

tal? ¿Qué puede restringir el comportamiento de los agentes (física o normativamente)? C) ¿Qué relaciones existen entre los agentes? ¿Qué relaciones existen entre agentes y ambiente? ¿Qué mecanismos permiten modelizar y simular generativamente el resultado de todas estas relaciones?

#### 14.4.4. Formalizar el modelo

En este momento del desarrollo del modelo, según Grimm *et al.* (2006), Bommel y Müller (2007) o Fonseca (2009), es de gran ayuda la utilización de formalizaciones que permitan expresar los elementos del modelo y sus relaciones, por ejemplo mediante diagramas del Lenguaje Unificado de Modelización (UML, usando diagramas de clases, de secuencias y de actividades). En todo caso, un diagrama de actividades o diagrama de flujo resulta una guía imprescindible para a) desarrollar todo el proceso posterior de la programación informática del modelo, o b) comunicar eficientemente a un programador externo las especificaciones del modelo que se desea construir, y c) especificar claramente el modelo de cara a la posterior comunicación y publicación de resultados. Existen diversas herramientas libres y simples para el diseño UML, por ejemplo UMLET o VIOLETUMLEDTOR.

#### 14.4.5. Codificar y documentar el modelo informático

El objetivo es convertir la especificación del modelo como conjunto de hipótesis en un conjunto ejecutable de líneas de código informático. Dado que existen diversos lenguajes de programación y dado que, aún con el mismo lenguaje, existen diversas formas de implementar cualquier modelo, no se puede determinar una única solución para el problema de la especificación. Todo modelo de simulación requiere de dos procesos generales para conseguir resultados derivados de su ejecución:

- A. *Inicialización* del modelo, esto es, generar su situación o estado en el momento inicial de la simulación. La inicialización del modelo en ocasiones interesa que sea generada a partir de una función aleatoria (p.ej. distribución uniforme de recursos y/o ubicación aleatoria de la población de agentes), mientras que en otras ocasiones interesa replicar un estado empírico (p.ej. SIG y/o estructura poblacional censal) aunque la mayoría de modelos, en su calidad de experimentos sobre teorías de rango medio (y no como facsímiles de la realidad), utilizan representaciones empíricas “estilizadas” o “simplificadas”, e incorporan tanto valores iniciales aleatorios como empíricos o teórico-experimentales. La inicialización se construye a partir de diagramas de clases o de casos.
- B. *Dinámica* del modelo, esto es, ejecutar las reglas de desarrollo, cambios de

estado, tomas de decisiones, acciones e interacciones, actualizaciones, aprendizaje, creación/difusión y demás fenómenos que componen la simulación y generan el fenómeno a estudiar. Ésta es la parte principal de cualquier modelo de simulación social generativa, y contiene la implementación en forma de código informático de todos los mecanismos (físicos, biológicos, psicológicos y sociales) que, derivados de teorías al respecto, se han aceptado y seleccionado como parte de las hipótesis explicativas del fenómeno. En la aproximación “generativa” a la simulación social basada en agentes cognitivos y situados, estos mecanismos o reglas de comportamiento deben ser genéricos y no deberían presuponer estructuralmente el resultado sino en cuanto a imponer restricciones amplias: esta modalidad de simulación social pretende obtener resultados sociales complejos a partir de la multiplicidad de interacciones entre agentes regidos por sistemas de reglas muy simples. La dinámica del modelo se construye principalmente a partir del anterior diagrama de actividades o flujo.

La implementación concreta del código depende del lenguaje o herramienta informática escogida para la construcción del modelo (ver apartado posterior sobre herramientas). En cualquier caso, es conveniente documentar el código en el momento mismo de escribirlo, esto es, detallar explícitamente el sentido de cada procedimiento y declaración empleada en la implementación del modelo. El objetivo no es otro que facilitar que cualquier persona pueda seguir la lógica de la implementación, en referencia a un equipo de codificadores que trabajen conjuntamente, a la comunicación científica definitiva del modelo, o al propio codificador en revisiones posteriores.

#### *14.4.6. Verificar la calidad interna del modelo de simulación*

En un sentido similar al utilizado en referencia a instrumentos de medición, un modelo puede tener A) problemas de fiabilidad y B) problemas de validez. En el primer caso, a partir de idénticas condiciones iniciales, se obtienen resultados diferentes generados tras múltiples ejecuciones. En el segundo caso (B), a partir de condiciones iniciales que representan condiciones reales o empíricas bien conocidas, se obtienen resultados simulados diferentes a los resultados reales o empíricos conocidos. Antes de pasar a analizar los datos de un modelo de simulación en términos de validez es preciso verificarlo en términos de fiabilidad, esto es, la “calidad interna” del modelo: ¿El modelo de simulación realmente se comporta tal y como se pretendía al implementar el sistema social? ¿Los agentes actúan según las reglas procedentes en cada momento, según la situación en que se encuentran? ¿Las reglas de comportamiento, por separado, realmente producen los efectos que se esperaba de ellas cuando se implementaron y codificaron a partir de las hipótesis? ¿Se resuelven correctamente las situaciones de concurrencia de normas alter-

nativas? ¿Los resultados de múltiples ejecuciones de la simulación proporcionan resultados caóticos, o pueden reconocerse patrones de equilibrio (estático o cíclico), de tendencias asintóticas o de agrupaciones cualitativamente similares? ¿Si seguimos individualmente a algunos agentes, verificando a través del tiempo, ocurren del modo esperado las interacciones con otros agentes?

La dificultad intrínseca de conseguir programación informática libre de errores aumenta en gran medida en el contexto de los modelos de simulación social, ya que un resultado inesperado puede ser generado por emergencia de comportamiento agregado de los agentes y sus interacciones tanto como por un error de programación. Además, como ya advirtieron Axtell y Epstein en 1994, la naturaleza “distribuida” de la dinámica social, modelizada en las simulaciones sociales SSMA, dificulta la detección de los errores de programación. Si el modelo de simulación incorpora reglas no deterministas (basadas en motores de generación de azar) obviamente cada simulación debería proporcionar resultados diferentes, pero esto forma parte de la implementación y por tanto no afecta a la evaluación de fiabilidad del modelo.

La fase de verificación es larga y compleja, y con frecuencia implicará modificaciones en el código que llevarán a nuevas pruebas de verificación. No existe una metodología consensuada para obtener una verificación de la fiabilidad para cualquier modelo de simulación multiagente, pero pueden reconocerse algunas indicaciones comunes entre la comunidad de practicantes de simulación social, para tratar de eliminar los errores de codificación (*bugs*). Estas indicaciones, muy extendidas en el contexto de la ingeniería del software, pueden resumirse en: expresividad y claridad de terminología utilizada; uso del modo de depuración; análisis de sensibilidad del espacio de parámetros y condiciones iniciales; documentación extensiva del código; uso de metodologías de asistencia a la depuración, como *Unit Testing*; simulación de escenarios conocidos. Para una profundización de estos consejos, conviene consultar (Ramanath y Gilbert, 2004). Trabajos como los de Edmons y Hales (2003), Galán e Izquierdo (2005) o Rouchier (2003) han mostrado cómo es difícil alcanzar el cero absoluto en número de errores, incluso en el caso de simulaciones publicadas como fiables. La fiabilidad y la validez de un modelo son independientes, hasta tal punto que nada impide la existencia de modelos de simulación válidos (predicciones o postdicciones ajustadas a la realidad empírica) pero no fiables (implementan incorrectamente el sistema de hipótesis en el que se basan). Por ello la verificación de la fiabilidad de un modelo debe realizarse de forma independiente y previa al análisis de su validez explicativa.

#### *14.4.7. Analizar la simulación y validar su calidad externa*

La fase anterior verificación de fiabilidad corresponde a la evaluación del modelo computacional como correcta implementación informática de un sistema de hipótesis generativas. Tal evaluación hace referencia al modelo entendido como

*implementación*, y no al modelo entendido como *sistema válido* de hipótesis explicativas; según Izquierdo y Galán: “...podríamos decir que verificar consiste en valorar si el modelo que tenemos es correcto, mientras que validar consiste en estudiar si tenemos el modelo correcto.” (2008: 89). La evaluación referida a la “calidad externa” es el objetivo de la fase de análisis y validación. Las cuestiones relevantes son: ¿Cómo cambian los datos finales con diferentes configuraciones iniciales? ¿Esas diferencias observadas tienen significado o explicación a partir de las hipótesis teóricas implementadas en el modelo? ¿Cuántas ejecuciones distintas, con idéntica configuración inicial, son necesarias para conseguir resultados “estables” y significativos? ¿Si se introduce “ruido” o aleatoriedad en el modelo cuál es su impacto sobre los resultados finales? ¿Cuánto “tiempo” (simulado) es preciso ejecutar el modelo hasta conseguir capturar el conjunto del comportamiento esperado y considerar simulado el fenómeno? ¿Los resultados obtenidos al cabo del “tiempo” son estables o inestables/cíclicos/caóticos en ese periodo de tiempo, o en otro periodo mayor?

No existe una forma consensuada de validar un modelo de simulación. De hecho, diferentes tipos de modelos requerirán de diferentes aproximaciones al problema de la validación. Hay que destacar que incluso la excelencia del modelo en el sentido de ajuste a los datos empíricos disponibles no asegura la posibilidad de validación satisfactoria, puesto que: 1) los datos empíricos no siempre están disponibles en el formato requerido, y 2) aún en caso que lo estuvieran, subsiste el problema irresuelto de la sobredeterminación cuando un efecto tiene dos causas independientes, cada una suficiente por sí sola para producirlo. Así, existe la posibilidad de obtener resultados similares: a partir de 2a) diferentes especificaciones del modelo y de 2b) diferentes configuraciones iniciales. El segundo caso (2b) no atenta contra la validez sino que, por el contrario, la refuerza y es el fundamento del llamado análisis de sensibilidad. El primer caso (2a) puede hacer referencia a implementaciones del mismo modelo en lenguajes de programación diferentes, lo que tiene un efecto positivo similar a (2b) sobre la validez, o puede hacer referencia a modelos fundamentalmente diferentes en cuanto a la definición de los agentes, reglas/mecanismos y entornos implicados, en cuyo caso se presenta en toda crudeza la problemática de la sobredeterminación y la incomparabilidad. Sin embargo, no puede considerarse éste cómo un argumento válido en contra del uso de modelos de simulación en investigación social puesto que se trata de un problema generalizado de método científico.

Boero y Squazzoni (2005) ofrecen una extensamente reconocida tipología de modelos de simulación social, asociada a diferentes técnicas recomendadas para la validación de los mismos: A) “modelos abstractos”, B) “modelos de rango medio” y C) “modelos facsímil”. Los “modelos abstractos” (o teóricos) pretenden formalizar y estudiar teorías sobre procesos o mecanismos sociales generales y básicos, esto es, que pueden encontrarse en amplias áreas de la vida social. Tales modelos no representan ningún caso empírico en concreto y deben ser entendidos más bien como ejemplos de investigación teórica pura. Por consiguiente se prescribe para es-

tos el uso de técnicas y criterios propios de la validación de teorías generales: que se basen en reglas de comportamiento individual plausibles y realistas, que generen patrones de resultados emergentes esperados e interpretables, y que sean capaces de generar teorías “de rango medio” más específicas. La técnica adecuada para su validación es el denominado “análisis de sensibilidad”, consistente en estudiar el efecto sobre los resultados agregados de variar sistemáticamente los parámetros iniciales del modelo (explorando el espacio multidimensional de parámetros). Una de las consecuencias de adaptar modelos abstractos a dominios específicos suele ser el descubrimiento de la relevancia de determinados factores, que tal vez hasta el momento no había destacado el trabajo teórico. Por ejemplo, en su estudio sobre el proceso de decisión individual sobre la aportación de recursos para obtener bienes públicos de uso general, León *et al.* (2010) presentan simulaciones realizadas a partir de un modelo abstracto que permiten identificar (junto con los factores reconocidos hasta el momento por la literatura al respecto como el tamaño del grupo o la topología de la red social) un nuevo factor explicativo altamente relevante: la limitación de información que resulta de la localización del individuo en una red social, y que en determinadas condiciones y en cierto grado puede tener efectos sociales positivos.

Los “modelos de rango medio” (B) pretenden describir las características de un fenómeno social de una forma suficientemente genérica como para que sea posible la aplicación de sus resultados a diversas instancias reales o casos de tal fenómeno. En tal situación se prescribe el uso de técnicas y criterios propios de la validación de teorías intermedias: el reconocimiento de patrones de similitud de naturaleza cualitativa, lo que implica unas dinámicas de comportamiento similares en el tiempo (análisis de trayectorias de eventos) y unos resultados agregados similares a los empíricamente observados. Según destaca Moss (2002), en tales casos la similitud debe entenderse como ajuste matemático de las curvas correspondientes de distribución estadística, pero tan sólo en cuanto a las formas generales de las curvas.

Los “modelos facsímil” (o dirigidos por datos) pretenden representar con el máximo detalle un fenómeno empírico e histórico concreto incorporando los datos disponibles. Por ejemplo, en 2000 Dean *et al.* publicaron su estudio del proceso histórico de abandono del área de Long House Valley por parte del pueblo Anasazi entre 800 y 1350 AD, a partir de la detallada información arqueológica disponible al respecto y mediante simulación de un modelo informático con 1250 individuos representados por 250 hogares-agentes. Los resultados intermedios de esta simulación se contrastaron con los diversos registros históricos al respecto. En estos modelos, si los resultados de la simulación son validados mediante contrastación con los registros empíricos no sólo se consigue evaluar la calidad externa del modelo, esto es, del sistema de hipótesis implementado, sino que permiten considerarlo un “sistema experto” con potencial para realizar predicciones futuras. La evaluación del ajuste entre los datos generados y los disponibles, para estos modelos, se rige por los mismos criterios y técnicas que los correspondientes a la metodología experimental u observacional: cálculo de indicadores agregados de correlación, como



por ejemplo  $R^2$  (coeficiente de determinación para modelos de regresión lineal) o  $V$  de Cramer (coeficiente de asociación para tablas de contingencia). Los datos generados a partir de una SSMA pueden ser de diversos tipos: A) *variables*, datos agregados de indicadores poblacionales: resumen estadístico final (distribuciones) o registros históricos (series temporales); B) *casos*, datos sobre el estado individual de los agentes: estados finales clasificables (análisis factorial, análisis de *clusters*) o correlacionables (regresión, asociación, etc.), o registros longitudinales individuales (historiales cuantitativos de sucesos, historias de vida cualitativas); C) *acciones*, datos detallados sobre los contextos decisionales concretos en que se han encontrado los agentes; D) *estructuras*, datos sobre las relaciones o vínculos entre agentes en forma de redes sociales (grafos): red final resultante, o dinámica intermedia (grafos evolutivos). Dependiendo del tipo de datos generados, se disponen de diversas técnicas de análisis y contrastación empírica diferentes, que pueden consultarse en la literatura especializada en análisis de datos.

#### 14.4.8. Publicar los resultados y el modelo

Los entornos de simulación más avanzados ofrecen la posibilidad de utilizar herramientas de registro y exportación de datos, así como de programación de réplicas de simulación de un mismo modelo bajo diversas condiciones particulares. El uso de tales opciones, en combinación con otras herramientas informáticas de análisis de datos permite concluir la fase de análisis y validación del modelo con la obtención de determinados resultados que, como resultados de cualquier proceso científico, deben hacerse públicos permitiendo su difusión y su discusión académica. En esta fase, las cuestiones relevantes son: ¿Los resultados obtenidos permiten validar el modelo? ¿Hasta qué punto esta validación permite justificar el sistema de hipótesis que el modelo implementa en su conjunto? ¿Atendiendo a las modificaciones y ajustes introducidos en el modelo, qué hipótesis quedan verificadas y qué hipótesis quedan falsadas? ¿Qué otras modificaciones o extensiones del modelo permitirían contrastar otras hipótesis relativas al fenómeno no consideradas por el modelo? ¿Qué datos e indicadores, numéricos o visuales, permiten comunicar de forma comprensible y eficientemente los resultados obtenidos? ¿Cómo se podrían incrementar la comparabilidad de los resultados y del modelo mismo entre la comunidad científica? ¿Cómo expresar mejor el sistema de hipótesis explicativas verificadas: literalmente, con diagramas, con pseudo-código o publicando el código completo? ¿Qué canales de comunicación científica son adecuados para la publicación de resultados de estudios sociales mediante SSMA?

Respecto a la publicación en sí misma, resulta cada vez es más común encontrar enlaces URL al código informático completo del modelo difundido bajo licencias libres, por ejemplo, el repositorio de código desarrollado por la comunidad de usuarios de NetLogo, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/community>. Las razones de este cambio se pueden rastrear entre la proliferación de formatos elec-

trónicos de publicación científica (que permiten anexar, sin problemas de espacio, todo tipo de material multimedia o código), la extensión de la conciencia y las prácticas del software libre FLOSS (*free-libre-open source software*) entre la comunidad de desarrolladores de aplicaciones informáticas, y los desarrollos hacia la interoperabilidad de los modelos, como el uso de entornos “amigables” (*domain-friendly*) para investigadores sociales o el uso meta-modelado con codificación final en lenguajes compatibles o “portables” entre máquinas (Java, C++). Hacia mediados de la década de 2000 se recomendaba en general la presentación de modelo utilizando diagramas de clase UML, pero esta propuesta está siendo últimamente superada por la recomendación de utilizar un protocolo independiente del modo concreto en que los modelos son implementados; UML está demasiado ligado a la aproximación basada en agentes y a la programación orientada-a-objetos como para permitir la suficiente apertura y flexibilidad.

En 2006 un numeroso equipo de investigadores del dominio de los sistemas socio-ecológicos proponen el protocolo ODD (*Overview, Design concepts and Details*) para estandarizar la publicación de descripciones de modelos basados en agentes, que recientemente ha sido revisado y ampliado por Grimm *et al.* (2010). Disponer de un protocolo normalizado promueve la formulación rigurosa de los modelos, facilita las revisiones y comparaciones entre modelos. Puede encontrarse más información sobre el protocolo, incluyendo plantillas para su uso, en [www.ufz.de/oesatools/odd/](http://www.ufz.de/oesatools/odd/) o <http://sct.uab.cat/lstds/es/content/protocolo-odd>.

#### **14.5. Construcción de simulaciones sociales multiagente (SSMA): Herramientas**

Construir una SSMA es una tarea larga y compleja si se utilizan técnicas de programación básicas sin ningún tipo de ayuda. Por ello, es recomendable utilizar entornos integrados de programación especializados, que contienen código “prefabricado” y ayudan al programador en su tarea. Existen diversas herramientas genéricas para construir simulaciones multiagente (p.ej. MAS-CommonKADS, TROPOS o INGENIAS), pero la simulación social requiere de plataformas específicas, debido a que sus características difieren de los sistemas multiagentes clásicos: habitualmente, en lugar de utilizar un reducido número de agentes “complejos”, se programa un número elevado de agentes relativamente “simples”. El uso de las herramientas mencionadas supone una distribución del trabajo en la que se perfilan tres vías distintas para el desarrollo de SSMA: 1ª) Equipo interdisciplinar, en el que un experto investigador social realiza el modelo teórico conceptual del fenómeno social y un experto programador realiza su implementación (p.ej. en España, es el caso de los primeros trabajos de los equipos de IIIA-CSIC, GRASIA e INSISOC); 2ª) Investigador social que adquiere competencias de programación, como parte especializada de su oficio, lo que implica formación de postgrado especializada en instituciones que disponen de tal oferta, p.ej. en Europa, ZUMA Workshop (Koblenz), ESSA Summer School, CRESS (Surrey), CfPM (Manchester); 3ª) Uso de

software de meta-modelado que permitan construir y simular SSMA de modo simple y asistido (p.ej. Repast, INGENIAS-S, Modelling4all, e IodaProject) análogamente a los actuales paquetes de análisis estadístico que permiten realizar complejos análisis multivariante asistido (p.ej. SPSS o SAS). A continuación se presentan brevemente algunas de las principales plataformas y herramientas disponibles para SSMA.

- *SWARM* <<http://www.swarm.org>>: Plataforma desarrollada en los 90s, actualmente en declive. Permite programación en Java y Objective-C, de dificultad elevada.
- *MASON* <<http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/>>: Plataforma muy potente y versátil, centrada en eficiencia y rapidez de ejecución. Muy enfocada a programadores expertos en Java.
- *CORMAS* <<http://cormas.cirad.fr>>: Plataforma centrada en aspectos espaciales, especializada en simulaciones de recursos naturales renovables en entornos sociales y medioambientales. Permite programación en SmallTalk.
- *REPAST* <<http://repast.sourceforge.net>>: Plataforma muy potente y versátil, que actualmente permite desarrollos en Java, Logo o Groovy. Incluye herramientas de meta-modelado para programadores no expertos. Permite importar modelos de Netlogo.
- *NETLOGO* <<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>>: Plataforma centrada en la facilidad de uso, con un lenguaje de programación muy sencillo, aunque menos potente que Repast o Mason. Especialmente indicada para científicos sociales que no desean profundizar en conceptos de programación ni realizar simulaciones excesivamente complejas. Incluye una recopilación de modelos de ejemplo muy amplia para experimentación y aprendizaje, y dispone de una activa comunidad de usuarios.
- *MIMOSA* <<http://mimosa.sourceforge.net>>: Plataforma de modelado conceptual y ejecución de simulaciones, en la que se construyen modelos usando una ontología (categorías, atributos y relaciones). Es una extensión de CORMAS basada en DEVS, dotada de gran flexibilidad. Permite programación en Java, Scheme, Jess, Python, Prolog y Smalltalk.
- *MODELLING4ALL* <<http://modelling4all.org>>: Herramienta de meta-modelado basada en tecnologías libres Web 2.0. No requiere instalación en el propio ordenador, ya que se ejecuta en su página web. Completamente orientada a no programadores, permite la construcción del modelo mediante módulos prefabricados, resultando un modelo en lenguaje Netlogo pero sin necesidad de programar. Prevé integrarse con otras tecnologías Web 2.0 como Google Maps o Second Life.
- *INGENIAS* <<http://ingenias.sourceforge.net>>: Herramienta de meta-modelado especializada en simulación de sistemas multiagente clásicos, que en los últimos años se ha adaptado para SSMA. Permite creación de modelos

sin programar, aunque su especificación visual sí requiere ciertos conocimientos técnicos específicos. Actualmente las plantillas necesarias para la generación automática de código para Repast están en desarrollo.

- *IODA PROJECT* <<http://www.lifl.fr/SMAC/projects/ioda/>>: Plataforma en fase de desarrollo inicial, con un enfoque no basado en agentes sino en sus interacciones. El modelado se basa en la especificación visual de las interacciones del sistema, generándose automáticamente los agentes y el código de programación que modeliza las reglas.

#### 14.6. Selección de recursos web

Sigue a continuación una selección de recursos web que permitirá al lector profundizar en los aspectos expuestos.

*Asociaciones científicas:* Existen actualmente tres sociedades académicas regionales dedicadas a la simulación social en general, y al modelado multiagente de fenómenos sociales. ESSA y CSSSA celebran conferencias anuales, y bianualmente se celebra un congreso Mundial conjunto:

- *European Social Simulation Association* (ESSA), <<http://www.essa.eu.org>>.
- *Computational Social Science Society of America* (CSSSA), <<http://computationalsocialscience.org>>.
- *Pacific Asian Association of Agent-Based Approach in Social Systems Sciences* (PAAA), <<http://www.paaa-web.org>>.

*Revistas:* con énfasis en la simulación social, desde diversas disciplinas:

- *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* (JASSS), revista electrónica Open Access (gratuita) centrada en simulación social desde las ciencias sociales. <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk>>
- *Computational and Mathematical Organization Theory* (CMOT), centrada en simulación social desde las ciencias sociales. <<http://www.springer.com/business+%26+management/business+for+professionals/journal/10588>>
- *Social Science Computer Review*, centrada en las interacciones entre ciencias sociales e informática, incluyendo simulación social. <<http://ssc.sagepub.com>>
- *Artificial Life* publicada por el Santa Fe Institute, centrada en sistemas complejos, principalmente desde la física. <<http://www.alife.org>>
- *Advances in Complex Systems*, centrada en sistemas complejos, desde distintas disciplinas. <<http://www.worldscinet.com/acs/>>

- *Discrete Dynamics in Nature and Society*, centrada en dinámicas discretas en sistemas complejos, desde ciencias sociales y ciencias naturales. Es Open Access (gratuita) y Creative Commons, aunque tiene tasa de publicación. <<http://hindawi.com/journals/ddns/>>
- *Ecological Modelling*, centrada en modelado de sistemas ecológicos <[http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws\\_home/503306/description](http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/503306/description)>
- *Structure and Dynamics*, centrada en evolución social y cultural desde un enfoque antropológico, incluyendo modelos de simulación <[http://escholarship.org/uc/imbs\\_socdyn\\_sdeas](http://escholarship.org/uc/imbs_socdyn_sdeas)>
- *Journal of Complexity*, centrado en sistemas complejos, desde ciencias matemáticas y físicas principalmente <[http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws\\_home/622865/description/](http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/622865/description/)>
- *Journal of Mathematical Sociology*, centrado en modelos matemático-sociológicos <<http://www.tandf.co.uk/journals/titles/0022250x.asp>>
- *Journal of Economic Interaction and Coordination*, centrado en simulación económica basada en agentes <<http://www.springer.com/economics/economic+theory/journal/11403>>
- *Journal of Economic Dynamics and Control*, centrado en aplicaciones computacionales en el campo de economía <[http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws\\_home/505547/description](http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/505547/description)>
- *Simulation & Gaming: An International Journal of Theory, Practice and Research*, desde hace más de 30 años tratando con metodologías de simulación aplicadas en educación, formación, consultoría e investigación <<http://www.uk.sagepub.com/journalsProdDesc.nav?prodId=Journal200777&crossRegion=eur>>

*Listas de correo y referencias web seleccionadas:*

- SIMSOC es una lista de distribución por correo electrónico gratuita de noticias referentes a publicaciones, congresos, talleres y ofertas de trabajo de interés para especialistas en simulación social. Inscripción y la consulta de archivos disponible en <<https://www.jiscmail.ac.uk/lists/simsoc.html>>.
- Leigh Testfatsion mantiene un excelente sitio web sobre Economía Computacional especialmente dedicado a la modelización de comportamiento económico multiagente, en <<http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/ace.htm>>.
- “Centre for Research in Social Simulation” (CRESS), del Departamento de Sociología de la Universidad de Surrey (UK) contiene un interesante listado de enlaces en <<http://cress.soc.surrey.ac.uk/web/links>>, y una página <<http://cress.soc.surrey.ac.uk/qasss>> adjunta a la excelente introducción a la modelización multiagente de fenómenos sociales que supone el libro *Agent-Based Models* de Nigel Gilbert (2008).

- El “Grupo de Ingeniería de Sistemas Sociales” (INSISOC) de la Universidad de Valladolid mantiene un manual de introducción a NetLogo en <[http://www.insisoc.org/introduccion\\_a\\_netlogo.html](http://www.insisoc.org/introduccion_a_netlogo.html)>.
- El “Institute for Modeling Complexity” del “Advanced Learning Center”, Mesa State College de UTEC mantiene la versión en castellano del Laboratorio de Aprendizaje de NetLogo con tutoriales sobre el proceso de modelado <<http://online.sfsu.edu/~jjohnson/NetlogoTranslation/index.html>>.
- El consorcio OpenABM mantiene un repositorio de modelos de simulación social y otros recursos para la comunidad <<http://www.openabm.org>>
- La página Agent-Based Models mantiene una lista de investigadores exhaustiva del campo, junto a otros recursos <<http://www.agent-based-models.com>>

## 14.7. Conclusiones

La estrategia metodológica de modelado y simulación informática es un instrumento más al servicio de las prácticas de investigación social en general, y sociológica en particular. La SSMA sigue lógicas similares a otras modalidades de investigación social, que pueden sistematizarse mediante unas fases de desarrollo y dispone de un conjunto suficiente (y en constante ampliación) de herramientas para la construcción de modelos sociales computacionales y la realización de simulaciones sociales.

Una de las principales razones por las que la simulación social puede interesar a investigadores sociales es la posibilidad de modelizar construyendo “laboratorios sociales virtuales” para poder contrastar explicaciones sin necesidad de recrear en la vida real situaciones de experimentación. Ante este planteamiento, es conveniente destacar el hecho incuestionable de que se requiere que el modelo, o “sociedad artificial”, utilizado esté ampliamente desarrollado, calibrado y validado con datos empíricos, hasta el punto de convertirse en un “sistema experto”. Sólo en tal caso se podría utilizar para introducir nuevos elementos (datos, o normas de comportamiento) y usarse como “laboratorio virtual”. Sin embargo, cuando un sistema simulado llega a sustituir hasta cierto punto al sistema real, deja de ser “simulación” y pierde su sentido en cuanto proceso o metodología de incremento del conocimiento. En la actualidad tales modelos no están disponibles para la mayoría de fenómenos sociales, y por tanto, no está disponible, en tal sentido, la utilidad de la simulación computerizada como laboratorio social. Sin embargo, cabe destacar en otro sentido, que un modelo de simulación suficientemente verificado y dotado de interfaces humano-máquina avanzados permite ya actualmente incorporar a agentes humanos a la “sociedad virtual”, constituyendo una prometedora plataforma para la experimentación con humanos en entornos virtuales. Es en este segundo sentido en el que la SSMA puede promover el desarrollo futuro de la metodología experimental y de laboratorio en las Ciencias Sociales.

Como todo instrumento, el uso de SSMA tiene el inconveniente de requerir un proceso específico de aprendizaje. Gracias a los desarrollos recientes de las herramientas implicadas, y a su previsible proyección futura, se puede esperar una reducción considerable del esfuerzo de aprendizaje requerido para la adquisición de competencias para su utilización.

Igualmente, como todo instrumento, el uso de SSMA genera modificaciones en las habilidades y competencias de sus usuarios. Debido a sus requerimientos estrictos se puede esperar que promueva una intensificación del proceso de reflexión, análisis y formalización de los fenómenos sociales a los que se aplica: 1) por la necesidad de trabajar desde una perspectiva global y sistémica respecto al proceso social a modelizar, en el contexto de otros hechos y procesos sociales que especifican los límites o entorno del sistema considerado; 2) por la mayor precisión de cualquier lenguaje informático utilizado para modelizar un sistema social, frente al lenguaje natural, lo que impulsa el desarrollo de modelos explicativos teóricos conceptuales más precisos, mejor comunicables y mejor contrastables que los habituales en Ciencias Sociales; y 3) por requerir la necesaria combinación de diversas explicaciones, teorías y datos, lo que impulsa la formulación de preguntas que quizás anteriormente no se habían planteado al considerarse propias de la atención de otras disciplinas.