

Modelamiento y simulación en investigación en management

Modelling and simulation in management research

Andrés Guillermo HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ ¹

Recibido: 25/04/2017 • Aprobado: 12/05/2017

Contenido

- [1. Introducción](#)
- [2. Metodología de la revisión](#)
- [3. Resultados](#)
- [4. Conclusiones](#)
- [Referencias bibliográficas](#)

RESUMEN:

Pese a que el campo del modelamiento y la simulación se ha desarrollado de manera importante desde hace varias décadas, su uso en la investigación en management es relativamente reciente, y particularmente en Latinoamérica su desarrollo no puede considerarse como extenso en las escuelas de formación y sus unidades de investigación. El trabajo introduce los conceptos más relevantes, los aportes y limitaciones del M&S, sus principales aspectos filosóficos y sus campos y herramientas más destacados.

Palabras clave Modelamiento y simulación, administración, investigación en administración

ABSTRACT:

Although the field of modeling and simulation has developed significantly for several decades, its use in management research is relatively recent, and particularly in Latin America its development can not be considered as extensive in schools and their research units. The work introduces most relevant concepts, contributions and limitations of the M&S, its main philosophical aspects and its most outstanding fields and tools.

Keywords modeliling ans simulation, management, management research

1. Introducción

El problema central abordado es el aporte del modelamiento y la simulación a al campo del management. El campo del modelamiento y la simulación (M&S) organizacional provee un conjunto de herramientas que permiten trabajar tanto la predicción de resultados asociados a cambios en las condiciones, como la simple ilustración de diversos fenómenos organizacionales. Su uso en el campo administrativo se ha enfocado más en la dimensión del entrenamiento para la toma de decisiones. Sin embargo, existe un gran potencial como herramienta de investigación. El presente trabajo introduce los principales conceptos y presenta los aportes y limitaciones del M&S. Discute además los aspectos filosóficos más relevantes del campo y

presenta los campos de acción y herramientas más destacadas, que pueden contribuir de manera significativa al desarrollo de las ciencias de la gestión y los estudios organizacionales.

2. Metodología de la revisión

2.1. Elección de criterios y filtros de búsqueda.

El criterio principal de búsqueda utilizado fue '*modelling and simulation*'. Se decidió incluir todos los registros que la base arrojara por default, incluyendo entonces el criterio de búsqueda tanto en el título como en las materias. Así mismo, se dejó abierto el rango de publicación desde el primer registro histórico identificado en la base de datos, hasta febrero de 2016. Para esto, se trabajó con la herramienta de EBSCO, disponible para el Sistema Integrado de Búsqueda de la Biblioteca de la Universidad del Rosario.

2.2. Búsqueda en la base de datos y aplicación de criterios de selección de material bibliográfico.

Se realizó la búsqueda a través de EBSCO y se aseguró la eliminación manual de los resultados repetidos no filtrados por la herramienta. El criterio de selección para el material a conservar fue la relación directa de los textos con el objetivo del proyecto. Así, se conservaron inicialmente aquellos que en su título o materias mencionaran explícitamente *modelling and simulation*. En caso de duda sobre la pertinencia, se procedió a revisar los resúmenes y en algunos casos las introducciones y apartados específicos de los textos.

2.3. Finalización de la búsqueda.

Se utilizó un principio de saturación, de acuerdo con el cual la inclusión de bibliografía en el cuerpo del texto se concluyó cuando ésta no aportaba adiciones significativas para el logro del objetivo.

2.4. Identificación de textos adicionales a partir de la revisión de la literatura encontrada en la base de datos.

Con base en la lectura de los diferentes textos seleccionados, se identificaron textos clave de la Teoría de las Contingencias que no estuvieran presentes en los resultados de la búsqueda inicial, a partir de lo cual se logró una mayor cobertura de trabajos pertinentes y relevantes.

3. Resultados

3.1. Aspectos generales de la simulación y su uso en la investigación y el management.

La revisión permitió encontrar que el modelamiento y simulación (M&S) se ha convertido en las últimas décadas en un campo académico y profesional de gran crecimiento e interés con un cuerpo propio de conocimiento, teoría y metodología de investigación (Banks, 2010). El desarrollo de las ciencias de la computación ha permitido que su uso haya pasado rápidamente de las ciencias físicas a las ciencias sociales donde se ha incorporado como instrumento de comprensión y de entrenamiento. En éstas últimas los ejemplos más tempranos datan de los años 60s y comenzaron a usarse ampliamente en los 90s como señalan Gilbert y Troitzsch (2005). Para comenzar el abordaje y comprensión del campo, es necesario precisar algunos conceptos que muestran los aspectos fundamentales de los procesos de M&S. Detrás de estos

tenemos las nociones de: sistema, modelo, simulación, análisis y visualización. A continuación se describe brevemente cada uno de ellos.

Dentro del campo se entiende generalmente un *sistema* como un constructo o colección de diferentes elementos que unidos producen resultados que individualmente no pueden ser obtenidos. Estos elementos pueden ser personas, hardware, software, instalaciones, políticas, documentos y todas aquellas cosas que se requieren para producir cualidades, propiedades, características, funciones, comportamientos, y desempeño en el nivel agregado. En M&S el sistema hace referencia al sujeto, o fenómeno a ser investigado y modelado. Existen dos tipos básicos de sistemas: discretos, en los cuales las variables de estado cambian instantáneamente en momentos separados en el tiempo; continuos, en los cuales las variables de estado cambian continuamente en el tiempo Banks (2010, 2012).

Un *modelo* es una simplificación -más pequeña, menos detallada, menos compleja, o todos estos elementos juntos- de una estructura o sistema (Gilbert & Troitzsch, 2005, 2). Pueden ser entendidos también como representaciones artificiales inteligibles, simbólicas, de situaciones en la cuales intervenimos (Le Moigne, 1990). En el terreno de las ciencias sociales, los modelos constituyen entonces una manera de aproximarse a comprender y actuar sobre los diferentes fenómenos organizacionales. Los problemas estudiados por las ciencias sociales son en general entidades dinámicas, cambiantes en el tiempo y reactivas ante el ambiente. Poseen a la vez estructura y comportamiento, lo cual implica que los modelos deben ser también dinámicos (Gilbert, 2000).

El modelo es a su vez, una especificación, que puede ser una ecuación matemática, una declaración lógica o un programa de computadora. Pero para que el modelo sea útil para el aprendizaje es necesario examinar cómo evoluciona en el tiempo. Una forma de hacer esto es a través de los métodos analíticos lo cual implica derivar la estructura futura de la especificación por el razonamiento, quizá usando la lógica o más a menudo mediante el uso de las matemáticas. Cuando los problemas a modelar son complejos, con especificaciones no lineales el razonamiento analítico puede ser difícil o incluso imposible. En estos casos la simulación es la única vía (Gilbert, 2000). Existen dos grandes aproximaciones para el desarrollo de modelos. La física, que puede ser un modelo a escala del sistema real, y la nocional, que es esencialmente un conjunto de ecuaciones matemáticas o declaraciones lógicas que describen el comportamiento del sistema. Es en este segundo caso cuando estamos en el terreno de la simulación (Banks, 2010, 2011).

Dawson (1962) define la *simulación* como una herramienta de investigación de las ciencias sociales que consiste en la construcción y manipulación de un modelo operativo, esto es, una representación física o simbólica para todos o algunos de los elementos de algún fenómeno social o psicológico. Como los modelos estadísticos, la simulación tiene 'entradas' y 'salidas' que son observadas a medida que la simulación corre. Normalmente, las entradas son atributos necesarios para hacer que la simulación encaje con determinados arreglos o conjuntos sociales, y las salidas corresponden a comportamientos del modelo en el tiempo (Gilbert & Troitzsch, 2005, 2). La simulación basada en computadores ha sido utilizada para proyectar comportamientos que son demasiado complejos para las herramientas analíticas.

El concepto de *verificación* es esencial dentro del M&S ya que se necesita saber si el modelo ha sido correctamente implementado y trabaja como estaba esperado Suleiman et. al. (2000). Se trata de constatar que la simulación hace efectivamente lo que se espera (Balci, 1994), es decir, tener suficiente evidencia de que el modelo conceptual se ha traducido correctamente en el lenguaje computacional. El modelador debe asegurarse de que no existen errores de programación. Este proceso se hace difícil cuando los modelos son más complejos como los sistemas sociales, ya que al trabajar con un gran número de números pseudo aleatorios para simular el comportamiento de múltiples variables, es difícil ver si las diferentes salidas al correr el modelo corresponden a errores de programación o a la diversidad y aleatoriedad de los datos.

La *validación* se ocupa de saber si se construyó el modelo correcto, si su comportamiento

corresponde al comportamiento del sistema real, si el modelo es una representación adecuada de la realidad (Chung, 2004). Se busca entonces la evidencia de que el modelo conceptual es una buena representación del fenómeno estudiado. El modelo debe entonces representar en un grado adecuado los patrones observados en el sistema (Suleiman et.al, 2000). La validación tiene entonces un componente de comparación con los datos empíricos obtenidos sobre el comportamiento del sistema.

El *análisis* es el proceso de estudiar las salidas de la simulación para comprender o explicar el sistema. Este proceso entonces busca generar información útil sobre el desempeño o comportamiento del sistema. Permite esbozar las conclusiones, verificar y validar la investigación para hacer recomendaciones. Para los modelos que están basados en la variación y la incertidumbre normalmente se hace uso de herramientas de estadística y probabilidad (Banks, 2012). En concordancia con el diseño del modelo, en este proceso pueden ser utilizados elementos de análisis cuantitativo y cualitativo, dependiendo de las variables que lo constituyen.

En los sistemas complejos a menudo las tablas y las gráficas resultan insuficientes para comprender claramente su comportamiento. En esos casos se hace necesaria la *visualización*. Esta puede entenderse como la capacidad de representar los datos, como un elemento de interface con el modelo (Banks, 2010). Puede ser entendida también como el proceso a través del cual se generan representaciones visuales como imágenes, gráficas, y animaciones de información que sería muy complicada de entender a través de otras formas de representación como texto o audio (Shen, 2010). La visualización es un elemento central de la simulación ya que permite transmitir o mostrar información de gran escala o de carácter dinámico.

En síntesis, podemos decir entonces que el modelamiento reside en un nivel de abstracción mientras que la simulación lo hace en el nivel de la implementación. En la primera se responde a la pregunta de ¿qué modelamos?, mientras que en la segunda nos preguntamos ¿cómo modelamos? Adicionalmente, puede concluirse que como disciplina que contribuye a la investigación y la praxis sobre diferentes tipos de sistemas, el M&S se aproxima a los fenómenos estudiados para construir interpretaciones lo más acertadas posibles. Para ellos usa mecanismos de verificación y validación que aseguran la fidelidad de los resultados con la realidad estudiada. Al implementar o 'correr' los modelos, se genera información relevante sobre el comportamiento del sistema, la cual se analiza y se organiza de manera tal que pueda ser visualizada por los analistas o expertos para generar conocimiento o para mejorar la capacidad de acción sobre determinada realidad.

3.2. Aportes, ventajas y limitaciones del M&S

Las organizaciones como sistemas sociotécnicos complejos, son un escenario ideal para el uso de las diferentes posibilidades que ofrece el M&S para la comprensión de las personas, sus comportamientos e interacciones entre ellas y el entorno. Podemos afirmar que de lo acertados que sean los modelos con los cuales representamos la organización y su entorno, dependerá la calidad de las investigaciones y de las intervenciones que hagamos sobre ellas. Mucho se ha cuestionado la limitación de las aproximaciones analíticas a los fenómenos organizacionales, lo cual ha abierto diferentes campos de reflexión e investigación para el desarrollo de maneras más adecuadas para comprender las organizaciones y para desarrollar mejores herramientas de gestión.

Como señalaban Bredens y Romme (1999), hasta hace menos de dos décadas, el uso de este tipo de herramientas en el campo de la investigación en management, estaba en general restringido a la investigación de operaciones, para la optimización de problemas de manufactura y sistemas logísticos, que tienden a ser similares a los problemas de optimización de las ciencias técnicas. Su uso en otros campos de investigación ha empezado a crecer a partir de la década pasada, aunque aun dista de ser extendido.

El M&S organizacional provee un conjunto de herramientas que permiten trabajar tanto la

predicción de resultados asociados a cambios en las condiciones, como la simple ilustración de diversos fenómenos organizacionales. Su gran aporte entonces, consiste en generar ambientes sintéticos sobre los cuales se pueden verificar los efectos esperados y no esperados de los cambios en las políticas organizacionales, y mejorar la capacidad para ver, analizar y tratar de entender a través de modelos (Rouse & Boff, 2005).

Siguiendo los argumentos de Axelrod (1997), podemos afirmar que el M&S tiene diversos propósitos entre los cuales se encuentran:

- La predicción. La simulación permite tomar un conjunto de entradas complicadas y procesarlas a través de mecanismos que tienen en cuenta diversas hipótesis, para generar posibles consecuencias y predicciones.
- Desempeño. En la medida en que se simula, por ejemplo, la inteligencia humana, la inteligencia artificial desempeña tareas que implican ejercicios de percepción, toma de decisiones interacción social. También al simular los ambientes de tareas, se ayuda a desarrollar nuevas técnicas.
- Entrenamiento. A través del diseño de representaciones interactivas razonablemente certeras y dinámicas de un ambiente determinado.
- Entretenimiento. Con el conjunto de simulaciones de ambientes reales e imaginarios que están presentes en el mercado de los computadores personales.
- Educación. Su principal uso en este campo es el de permitir a los usuarios aprender sobre las relaciones y los principios que las rigen. Este uso implica la creación en ambientes reales o imaginarios con riqueza suficiente ilustrar las características del sistema estudiado.
- Prueba. Algunas simulaciones se han usado como prueba de existencia de determinados fenómenos.
- Descubrimiento. Como herramienta metodológica de investigación, la simulación ha ayudado a descubrir relaciones y principios que subyacen al funcionamiento de los modelos y los efectos de los cambios en las hipótesis que los fundamentan.

El uso del M&S se ha incrementado en las últimas décadas tanto dentro de las organizaciones como en el terreno académico con propósitos de investigación en diferentes campos. Entre las principales ventajas de su uso encontramos (Chung, 2004; Banks, 1998):

- Hacer mejores elecciones. Permite poner a prueba los diferentes aspectos de un cambio en un sistema, sin adquirir o comprometer recursos.
- Comprimir y expandir el tiempo. Los períodos de tiempo de los procesos del sistema real se pueden modificar en la simulación de acuerdo con las necesidades del análisis.
- Entender el por qué. Hace posible reconstruir la escena y examinar en detalle el fenómeno.
- Explorar posibilidades. Una vez desarrollado y validado el modelo, se puede sondear el resultado de aplicar diversas políticas, procedimientos o métodos sin intervenir el sistema real.
- Diagnosticar problemas. Permite entender mejor las interacciones entre las variables del sistema y ganar comprensión.
- Identificar restricciones. Evidenciando las causas de los retrasos en diferentes procesos.
- Desarrollar entendimiento. El M&S permite comprender cómo funciona realmente el sistema más allá de la perspectiva que puede tener un individuo.
- Visualizar el plano. Las herramientas actuales permiten tener visualizaciones más completas del sistema, lo cual permite mejorar su comprensión.
- Construir consenso. Ya que permite ver los efectos posibles de los cambios implementados, ayuda a formar la opinión de los diferentes interesados.
- Preparar para el cambio. Puesto que ayuda a contestar los 'que pasa si', es útil no sólo para el diseño sino el rediseño de sistemas.
- Invertir sabiamente. El costo de la simulación es considerablemente menor que el diseño, implementación o rediseño, así que resulta una buena inversión.
- Especificar requerimientos. El M&S permite identificar las necesidades para el funcionamiento del sistema.

De acuerdo con lo anterior, resulta claro cómo el M&S aporta en diferentes aspectos tanto en el terreno de la toma de decisiones como en el de la comprensión. Sin embargo, también presenta ciertas limitaciones que deben ser señaladas para que sean abordadas en cualquier proceso emprendido. Entre las principales encontramos (Chung, 2004; Banks, 1998):

- Se requiere de un entrenamiento especial. Se aprende con tiempo y experiencia. Adicionalmente, estos conocimientos usualmente no se adquieren en los programas tradicionales de formación.
- Si entra 'basura' se obtiene basura. No se puede obtener resultados precisos con datos imprecisos, aunque el modelo sea muy bueno.
- Una simulación no produce soluciones fáciles a problemas complejos. Aunque se pueden hacer supuestos simplificadores, si se ignoran elementos críticos del sistema, el resultado puede no ser adecuado.
- La simulación por sí misma no resuelve problemas. Provee mayor comprensión, pero la intervención acertada requiere de la participación en el proceso de los diferentes actores interesados.
- Puede ser muy costosa. Simular sistemas muy complejos puede requerir mucho tiempo y recursos, especialmente cuando el sistema resulta más complejo de lo que inicialmente se ha supuesto.
- Los resultados envuelven muchas estadísticas. Esto implica dificultades de interpretación de resultados cuando los individuos no poseen el conocimiento necesario.

Para efectos del presente trabajo, es importante la perspectiva de diversos autores (Tolk, 2013; Banks, 2012; Axelrod, 2007; Gilbert & Troitzsch, 2005; Suleiman et. al., 2000) que consideran el campo del M&S como una forma más de hacer ciencia. En las dos formas tradicionales de la investigación científica, por una parte, la inducción permite descubrir patrones a partir de los datos empíricos, mientras que, por otra, la deducción se concentra en establecer posibles consecuencias a partir de un conjunto de supuestos dados. La simulación comparte con la deducción su fundamento en un conjunto explícito de supuestos, pero difiere de ésta en que no prueba teoremas. En vez de esto, la simulación genera datos que pueden ser analizados inductivamente. A diferencia de la inducción tradicional, los datos de la simulación no provienen de la realidad, sino de un conjunto de reglas rigurosamente especificadas.

El proceso del M&S para la producción de conocimiento científico implica un conjunto de pasos (Doran, 1997). El primer momento consiste en identificar el 'rompecabezas' o problema que queremos investigar, sobre el cual queremos conocer. El segundo paso es la definición del objetivo o fenómeno a modelar. Se requiere además una observación del objetivo o fenómeno con el fin de obtener los parámetros y las condiciones iniciales del modelo. Éstos a menudo tienen un efecto importante en la dinámica del modelo en el tiempo.

3.3. Aspectos filosóficos del modelamiento y simulación (M&S)

En primer lugar, resulta adecuado señalar que para algunos académicos el M&S se entiende primordialmente como una herramienta computacional que ayuda a tomar mejores decisiones de naturaleza técnica o administrativa. Desde esta perspectiva se hace énfasis en su dimensión ingenieril y por ende en los diferentes campos de aplicación de las herramientas desarrolladas (Tolk, 2013). Así, en síntesis, se entiende a el M&S cómo un elemento de apoyo para la optimización de soluciones en otras disciplinas. Sin embargo, existe una creciente comunidad académica que considera el M&S como una disciplina que ha ganado autonomía y perspectiva científica.

Mientras que la primera aproximación se centra en cómo podemos encontrar mejores soluciones a problemas específicos mediante el M&S, al verla como una forma de hacer ciencia, las preguntas se centran alrededor de entender qué clase de problemas son abordables generalmente y optimizables a partir del M&S. Así, la perspectiva de una ciencia del M&S se ocupa de preguntas como ¿qué es el M&S?, ¿cuáles son las características de sus aplicaciones?, ¿qué sabemos?, ¿cómo ganamos conocimiento y cómo actuamos sobre este conocimiento?, ¿existen límites para lo que podemos modelar y para lo que podemos simular en las computadoras?, ¿cómo sabemos que podemos confiar en las soluciones generadas a través del M&S? (Tolk, 2013).

Tal y como sucede en otras disciplinas, la aproximación científica del M&S ha generado importantes discusiones entre los investigadores alrededor de tres aspectos filosóficos esenciales: ontológicos, epistemológicos y teleológicos. Con respecto a la primera discusión, es importante señalar que por su naturaleza, el campo del M&S maneja conceptos relativos a

la ontología. Trabajos como los de Turnitsa & Tolk (2013) y Raubal & Kuhn (2004), Guarino (1998), señalan la diferencia entre las dos nociones provenientes respectivamente {de verdad respectivamente?} de los dominios de la filosofía y de las ciencias de la computación.

Dentro del contexto de la filosofía, la ontología se refiere al abordaje del problema del ser, de la existencia, y se configura como un sistema de categorías que representa una cierta visión del mundo. La ontología se ocupa entonces de la naturaleza y organización de la realidad. Dicho sistema de categorías no depende de un lenguaje específico, es el mismo independientemente del lenguaje con el que se exprese (Guarino, 1998). Es importante resaltar, como menciona Valore (2006), que la ontología contemporánea se construye sobre una 'forma lógica de enunciados existenciales', apartándose de los métodos literarios de la lógica tradicional. En vez de ocuparse de listar los objetos existentes, esta ontología contemporánea se centra en la 'justificación de la existencia'. Este es un elemento importante para el M&S, ya que la ontología se ocuparía en la existencia de los fenómenos susceptibles de ser modelados.

En el campo de las ciencias de la computación y la Inteligencia Artificial, la noción de ontología, se refiere a la codificación del conocimiento sobre un sistema. Allí las ontologías se definen usualmente como "una especificación formal y explícita de una conceptualización compartida" (Gruber, 1993). Tolk (2013), usa la expresión 'representaciones ontológicas' como equivalente a esta noción de ontología, lo cual resulta menos confuso a la hora de distinguirla del concepto originario de la filosofía. Estas representaciones ontológicas formulan relaciones entre los significados de un conjunto de términos, combinando taxonomías de conceptos con la información sobre las relaciones que pueden existir entre las entidades pertenecientes a los diferentes elementos específicos de cada taxonomía (Gotts & Polhill, 2009).

La epistemología es otra de las vertientes importantes de la filosofía ya que es una de las maneras a través de las cuales construimos uno de los interrogantes filosóficos fundamentales: la relación entre nosotros y el mundo. El cuestionamiento epistemológico básico hace referencia a ¿Cómo conocemos?, se centra entonces en las formas a través de las cuales construimos el conocimiento sobre lo que existe. Para Hofer (2002), las creencias epistemológicas del individuo hacen referencia a la definición del conocimiento, cómo el conocimiento es construido, cómo es evaluado, dónde reside, y cómo ocurre. En ese sentido la epistemología respondería a la pregunta de qué puede ser considerado conocimiento.

Para Zagzebski, (2009, 8), la materia objeto de la epistemología es más amplia que el estudio del conocimiento y de sus componentes. Y la caracteriza como: el estudio de las formas correctas o buenas para captar cognitivamente la realidad. En el campo del M&S estas preguntas implican el cuestionamiento sobre por qué y cuándo podemos confiar en los resultados de la simulación (Tolk, 2013). Tolk señala además que la epistemología de el M&S debe abordar las limitaciones metodológicas del campo, así como las restricciones de su aplicación. Asimismo, resalta cómo los aspectos metodológicos son importantes para la construcción de elementos comunes para soluciones aplicables en diferentes ámbitos y no sólo en un conjunto de casos.

El tercer aspecto filosófico del M&S como forma de investigación científica hace referencia a su perspectiva teleológica. Al abordar los aspectos teleológicos de un campo, en este caso al M&S, nos encontramos frente a la búsqueda de sus finalidades, es decir, se busca comprender cuáles son los propósitos de un determinado campo del conocimiento o una determinada teoría. El asunto central es entonces ¿cómo aplicar el conocimiento generado? Resulta claro que la aplicación va más allá de la simulación en sí misma, no es un problema que se restringe a la dimensión computacional de operar o correr los modelos para obtener un conjunto de datos a partir de ellos. Los modelos y por ende las simulaciones son construidos para abordar fenómenos, problemas específicos que poseen de manera implícita una finalidad (Le Moigne, 1990).

Al respecto señala Tolk (2013, 11) que los modelos son abstracciones y simplificaciones de la realidad que tienen un propósito y que resultan en una conceptualización que se transforma en un sistema de simulación ejecutable. Si se quiere aplicar una simulación determinada con un

propósito especial, se tiene que tener en cuenta el objetivo que los desarrolladores originalmente tenían en mente. Este es un elemento de gran importancia ya que al reconocer los propósitos de un ejercicio de M&S específico se abre la puerta para su discusión y aplicación en contextos diferentes a aquel o aquellos para los que fueron creados. Esto es un punto central para la discusión sobre su validez y pertinencia cuando se aplican al estudio de otras realidades, problemas o fenómenos.

3.4. Aproximaciones al M&S: Principales áreas de trabajo y herramientas del campo

Troitzsch (1995), esboza las características para establecer una taxonomía de las aproximaciones al modelamiento de procesos sociales. La primera es el número de diferentes *tipos de objetos* que representan los fenómenos del mundo real. Por un lado, tenemos los *modelos macro* en los que un solo objeto representa todos los fenómenos que están en juego. Todo lo que tiene que ser modelado estará representado por atributos de este único objeto y por invariantes entre estos atributos. Por otro lado tenemos los modelos micro, en los cuales al menos dos tipos de objetos representan diferentes clases de elementos del mundo real. Aquí las relaciones entre los objetos tienen que ser definidas, y las invariantes se mantienen para atributos de diferentes objetos.

De acuerdo con el autor, otras dos características importantes tienen que ver con los dominios de los atributos y del tiempo. El tiempo puede ser considerado como continuo (que, en un sentido estricto, se aplica sólo a modelos matemáticos, aunque la simulación por computador es capaz de aproximar tiempo continuo a un grado arbitrario), o puede ser considerado como una serie de diferentes puntos de tiempo, equidistantes o no. Lo mismo vale para los dominios de atributos (los valores que pueden tomar las variables): pueden ser continuos, también, o pueden ser discretos. Una cuarta característica tiene que ver con el carácter determinístico o estocástico del modelo. En el primer caso, tanto los efectos aleatorios como los errores de medición se descuidan explícitamente, mientras que, en este último, ambos se pueden incluir, ya sea en conjunto o por separado.

La quinta característica distintiva es el carácter de linealidad o no linealidad de los modelos. Aunque a menudo se la considera primero a la hora de escoger entre un conjunto de soluciones posibles a un problema, ya que es usual tomar una decisión a favor de los modelos lineales, debido a su posibilidad de resolución analítica y a la facilidad para la estimación de parámetros. Otras dos distinciones que pueden hacerse entre los modelos, es la disponibilidad de herramientas y el propósito de la simulación (explicativo, soporte a toma de decisiones, predictivo, entrenamiento, didáctico)

De trabajos como el de Gilbert y Troitzsch (2005), Suleiman et. al (2000) y Sokolowski & Banks (2012), se puede sintetizar un conjunto de aproximaciones de M&S en ciencias sociales que han generado la mayor parte de aportes al campo en las últimas décadas.

- **Dinámica de sistemas.** En Dinámica de sistemas los procesos del mundo real se representan en términos de stocks (por ejemplo, de material, el conocimiento, la gente, el dinero), los flujos entre estas acciones, y la información que determina los valores de los flujos. De eventos individuales y entidades se hace una abstracción que genera una visión global. Para abordar el problema desde la perspectiva de DS se tiene que describir el comportamiento del sistema como una serie de *bucles interactuantes* de *retroalimentación*, *equilibrio* o de *refuerzo* (Borshchev & Filippov, 2004). Se modela a partir de un conjunto de variables observables que describen los atributos básicos o magnitudes globales del sistema. Se centra en los procesos de retroalimentación entre dichas variables y busca identificar cuáles de ellas resultan críticas para la operación del sistema. Los procesos de retroalimentación dan cuenta de la evolución del comportamiento del sistema en el tiempo. Estos modelos enfatizan entonces en la estructura (partes y relaciones) y el comportamiento del sistema (trayectorias de las relaciones).
- **Teoría de Juegos.** Se ocupa del comportamiento racionalmente correcto en el cual los actores están

intentando ganar en una situación de conflicto que en la teoría se denomina 'juego' (Geckil, & Anderson, 2010, 10). Un modelo de teoría de juegos es un entorno donde las acciones de cada decisor interactúan con las de los demás. En general, el comportamiento que implica tal toma interactiva de decisiones se llama estratégico, y el conjunto de acciones y movimientos de cada jugador con respecto a otros, dadas las reglas del juego, se llama estrategia. Los juegos están compuestos por tres elementos: un conjunto de jugadores, los movimientos que cada jugador puede hacer y, los pagos que pueden recibirse (Miller, 2008). A través de este tipo de simulación se puede encontrar el resultado o los resultados más probables del juego, de acuerdo con los supuestos establecidos. La teoría se ocupa tanto de juegos cooperativos como no cooperativos y ha desarrollado modelos para analizar juegos a través del tiempo donde existen varios momentos de decisión.

- Modelos microanalíticos. A diferencia de los modelos de dinámica de sistemas que se centran en el nivel agregado {no supe qué es nivel agregado...}, tomando el sistema en su conjunto. Los modelos de simulación microanalítica (MSMs) encuentran cabida en problemas de investigación social en donde el foco está en las personas, grupos, clases o subpoblaciones. En estos casos es necesaria una aproximación que permita modelar en diferentes niveles. Estos modelos consisten en por lo menos dos niveles: el individual o de hogares (podrían entenderse aquí también las organizaciones), y el agregado (poblaciones o economías nacionales). Ya que requieren información detallada sobre las unidades básicas demandan una gran capacidad de recolección, almacenamiento y procesamiento de datos (Gilbert & Troitzsch, 2005).
- Modelos de colas o de eventos discretos. Una cola se entiende como una línea de personas u objetos que esperan por servicio o atención (Díaz & Behr, (2010). Estos modelos son representaciones del sistema en términos de entidades y sus atributos, conjuntos, eventos, actividades y retrasos. El estado del sistema es definido por los valores de todos los atributos de todos los objetos o en algunos casos por una agregación de los mismos. El estado del sistema sólo cambia por un evento. En este tipo de modelos el tiempo no es continuo y no transcurre en pasos equidistantes. En este tipo de modelos se trabaja con tres tipos de objetos: servidores, clientes y colas. Además, se trabaja con un objeto adicional que es la agenda, que rastrea los eventos y los momentos en que ocurren. Estos modelos son dinámicos en la medida en que los estados de los servidores, clientes y colas, dependen de los estados pasados.
- Modelos de simulación multinivel. Los modelos multinivel incorporan retroalimentaciones entre niveles y a veces entre objetos del mismo nivel (Troitzsch, 1995). Esta visión implica la noción de que existen sistemas dentro de sistemas donde los elementos del sistema de una clase, son sistemas de otra clase. Este tipo de modelos se interesan en las propiedades emergentes que se dan en el macronivel a partir de las interacciones (Troitzsch, 2009). Encontramos en general dos tipos de situaciones modeladas. Aquellas en las cuales los individuos de una o más poblaciones no interactúan directamente entre sí, pero cambian el estado del conjunto del sistema o de su población, y reaccionan con cambios individuales de estado, a este cambio del sistema o del nivel superior. En otros se presenta una interacción directa entre individuos, que modifica los estados de cada par interactuante (Troitzsch, 1996).
- Autómatas celulares. Son un tipo de sistemas dinámicos discretos. Modelan un mundo en el cual el espacio es representado como una matriz uniforme, el tiempo avanza por pasos, y las leyes de dicho mundo están representadas por un conjunto de reglas que aplican a todas las células y que computan el estado de cada una desde su propio estado previo y el estado previo de sus vecinos cercanos (Gilbert & Troitzsch, 2005). Un elemento importante es que aunque cada componente individual del sistema es simple, en conjunto pueden mostrar comportamientos complejos (Wolfram, 1985). Los tres elementos fundamentales del autómata celular son: uniformidad (todas las células se actualizan bajo las mismas reglas; sincronidad (todos los estados de las células se actualizan simultáneamente); localidad (las reglas son de naturaleza local). En este tipo de sistemas también existen comportamientos emergentes (Schiff, 2008)
- Simulación basada en agentes. Desde un punto de vista formal, se puede definir la simulación basada en agentes como un método informático que permite construir modelos constituidos por agentes que interactúan entre sí dentro de un entorno, para llevar a cabo experimentos virtuales (Gilbert, 2008, 2). Estos agentes toman decisiones evalúan la situación y hacen elecciones de acuerdo a un conjunto definido de reglas de decisión. Este tipo de modelos se compone de los

agentes, un ambiente a través del cual éstos interactúan y una serie de reglas que define las relaciones entre los agentes y su ambiente y que determinan la secuencia de acciones en el modelo (Parker et al. 2003). Dependiendo del problema de interés, los agentes pueden representar a los individuos, grupos, empresas o países y sus interacciones. Los comportamientos y las interacciones de los agentes se formalizan a través reglas u operaciones lógicas del tipo 'si-entonces' (Helbing, 2012, 27). La utilidad de este tipo de modelos radica en su capacidad de encontrar las conexiones emergentes entre los componentes del sistema (North & Macal, 2007).

- Simulación de redes sociales. Se centra en las relaciones existentes entre entidades sociales y los patrones e implicaciones de estas relaciones. La unidad de análisis no es el individuo sino el conjunto de individuos que y las relaciones entre ellos. Wetherell et. al. (1994), señala que, de una manera más amplia, el análisis de redes sociales conceptualiza la estructura social como una red con lazos que conectan y canalizan los recursos; se centra en las características de los vínculos más que en las características de los miembros individuales, y ve a las comunidades como redes de relaciones individuales que las personas fomentan, mantienen y utilizan en el curso de su vida cotidiana. En los modelos de redes podemos encontrar el análisis de aspectos como actores, relaciones, díadas, tríadas, grupos y subgrupos (Wasserman & Faust, 1994). El énfasis en los vínculos implica que los comportamientos de los individuos no están mediados únicamente por sus características sino por el contexto social en el cual están inmersos.

4. Conclusiones

El campo del modelamiento y la simulación ha estado presente en la administración durante las últimas décadas, aportando primordialmente al soporte en la toma de decisiones gerenciales y en el entrenamiento para las mismas. Sin embargo, existe un terreno que se ha ido abriendo campo en cuanto a su uso como metodología para la investigación científica. Allí sus aportes en la construcción de conocimiento son importantes y tienen gran potencial de desarrollo, principalmente por la capacidad que otorgan al investigador de realizar experimentos para testear hipótesis de trabajo en escenarios virtuales, especialmente frente a problemas organizacionales sobre los cuales sería demasiado costoso y complejo trabajar con intervenciones o indagaciones en el mundo real.

Las diversas herramientas y enfoques de modelamiento y simulación permiten explorar, investigar e intervenir un amplio conjunto de problemas, con diversos niveles de complejidad, por lo cual se convierten en un mecanismo que puede adaptarse y ajustarse permanentemente para comprender la dinámica organizacional. La posibilidad de trabajar con el 'what if', dota al investigador con la posibilidad de jugar con diferentes versiones del problema modelado, de manera que el ensayo y el error se convierten en un mecanismo de refinamiento constante de las hipótesis y las teorías sobre el comportamiento y la gestión organizacional.

Referencias bibliográficas

Ashby, W.R. (1968). Variety, constraint, and the law of requisite variety. En: Buckley, W. (Ed.), *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*. Chicago: Aldine Publishing Co.

Axelrod, R. (1997). Advancing the art of simulation in the social sciences. En: R. Conte, R. Hegselmann and P. Terna (Eds), *Simulating social phenomena, lecture notes in economics and mathematical systems*, Vol. 456 (pp. 41–54). Berlin: Springer-Verlag.

Axelrod, R. (2007). Simulation in the social sciences. En J.-P. Reynard (Ed.), *Handbook of research on nature inspired computing for economy and management* (pp. 90–100). Hershey, CA: Idea Group.

Balci, O. (1994). Validation, verification, and testing techniques throughout the life cycle of a simulation study, *Annals of Operations Research*. (53), 121–173.

Banks, C. (2010). Introduction to modeling and simulation. En: Sokolowski, J. & Banks, C., *Modeling and simulation fundamental. Theoretical underpinnings and practical domains*. New

Jersey: Wiley & sons.

Banks, C. (2012). Research and analysis for real-world applications. En: Sokolowski, J. & Banks, C., *Handbook of real world applications in modeling and simulation*. New Jersey: Wiley & sons.

Banks, J. (1998). Principles of simulation. En: Banks, J. (Ed.) (1998). *Handbook of simulation. principles, methodology, advances, applications, and practice*. New York: Wiley & sons.

Becker J., Niehaves, B. Klose, K. (2005) A framework for epistemological perspectives on simulation. *Journal of artificial societies and social simulation*, 8(4).

Borshchev, A. & Filippov, A. (2004). From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools. En: *The 22nd International Conference of the System Dynamics Society*, July 25 - 29, 2004, Oxford, England.

Brends, P. & Romme, G, (1999). Simulation as a research tool in management studies. *European Management Journal*. 17(6), 576–583.

Chung, Ch. (2004). *Simulation Modeling Handbook. A practical approach. Industrial and manufacturing engineering series*. Boca Raton: CRC Press.

Cilliers, P. (1998). *Complexity and Postmodernism: Understanding Complex Systems*. Londres: Routledge.

Dawson, R.E. (1962) Simulation in the social sciences. En: Guetzkow H. (Ed.), *Simulation in Social Science: Readings*. New Jersey: Prentice Hall.

Diaz, R. & Behr, J. (2010) . Discrete-event simulation. En: Sokolowski, J. & Banks, C., *Modeling and simulation fundamental. Theoretical underpinnings and practical domains*. New Jersey: Wiley & sons.

Doran, J. (1997). From computer simulation to artificial societies. *Transactions of the Society for Computer Simulation International*, 14(2),69-78.

Geckil, I. & Anderson, P. (2010). *Applied game theory and strategic behavior*. Boca Raton: CRC Press.

Gilbert, N. & Terna, P. (2000). How to build and use agent-based models in social science. *Mind & Society*. 1 (1). Pp 57-72.

Gilbert, N. & Troitzsch, K. (2005). *Simulation for the social scientist*. Glaslow: Open University Press.

Gilbert, N. (2000). Models, processes and algorithms: Towards a simulation toolkit. En: Suleiman R., Troitzsch, K. G., Mueller, U., & Gilbert, N.,(Eds). *Tools and Techniques for Social Science Simulation*. Heidelberg: Physica-Verlag HD

Gilbert, N. (2007) Agent based models. En: Knoke, D. & Yang, S., *Social network analysis. series: Quantitative applications in the social sciences*. Vol 154. Londres: SAGE.

Gilbert, N. (2008). *Agent-based models: Quantitative applications in the social science*. Londres: Sage.

Gotts, N.G. & Polhill, J.G. (2009). Narrative Scenarios, Mediating Formalisms, and the Agent-Based Simulation of Land Use Change. En: Flaminio Squazzoni (Ed.), *Epistemological Aspects of Computer Simulation in the Social Sciences*. Berlin: Springer.

Gruber, T.R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*, 5, 199–220

Guetzkow, H. (Ed.) (1962). *Simulation in social science: Readings*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Helbing, D. (Ed.) (2012). *Social self-organization- agent-based simulations and experiments to study emergent social behavior*. New York: Spriger.

Kauffman, S. (1995). *At home in the universe*. New York: Oxford.

- Le Moigne, J. (1990). *La modélisation des systèmes complexes*. Paris: Bordas.
- Maguire, S. & Mckelvey, B. (1999). Complexity and management: Moving from fad to firm foundations. *Emergence*, 1(2), 19, 61.
- McCarthy, E. (1960). *Basic marketing: A managerial approach*. Homewood: Richard D. Irwin.
- Mcguire, S. Mckelvey, B., Mirabeau, L. & Öztas, N. (2006). *Complexity sciences and organizations studies*. En: Clegg, S., Hardy, C., Laurence, T. & Nord, W. (2006). *The SAGE handbook of organization studies*. Londres: SAGE.
- Miller, (2008). *Game Theory at Work*. New York: McGraw-Hill.
- Nikolic, I. & Kasmire, J. (2013). Theory. En: van Dam, K., Nikolic, I., Lukszo, Z. (Eds.) (2013). *Agent-based modelling of socio-technical systems*. New York: Springer.
- North, M. & Macal, Ch. (2007). *Managing business complexity. Discovering strategic solutions with agent-based modeling and simulation*. New York: Oxford University Press.
- Parker, D., Manson, S.M, Janssen, M.A, Hoffmann, M. J. & Deadman, P. (2003). Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change. En *Annals of the Association of American Geographers*, 94, 314-337.
- Rouse, W. & Boff, K. (2005). *Organizational simulation*. New Jersey: Wiley-Interscience.
- Schiff, (2008). *Cellular automata. A discrete view of the world*. New Jersey: Wiley.
- Sokolowski, J. & Banks, C. (2010). *Modeling and simulation fundamental. Theoretical underpinnings and practical domains*. New Jersey: Wiley & sons.
- Sokolowski, J.A. & Banks, C. (Eds.) (2102). *Handbook of real-world applications in modeling and simulation, First Edition*. New Jersey: Wiley.
- Suleiman, R.; Troitzsch, K.G.; Gilbert, N. (Eds.) (2000). *Tools and techniques for social science simulation*. Heidelberg: Physica-Verl
- Tolk, A. (2013). Truth, trust, and turing. Constraints for modeling and simulation. En: Tolk, A. (Ed.), *Ontology, Epistemology, and Teleology for Modeling and Simulation. Philosophical Foundations for Intelligent M&S Applications*. Berlin: Springer.
- Treuil, J., Drogoul, A. & Zucker, J. (2008). *Modélisation et simulation à base d'agents*. Paris : Dunod.
- Troitzsch, K. G. (1996). Simulation and structuralism. En: Hegselmann, R., Ulrich Mueller, U., Troitzsch, K.G., (Eds.), *Modelling and simulation in the social sciences from the philosophy of science point of view*. Berlin: Springer.
- Troitzsch, K. G. (1997) Social simulation – origins, prospects, purposes. En: R. Conte, R., Hegselmann, R. & Terna, P (Eds.) (1997). *Simulating social phenomena, lecture notes in economics and mathematical systems*. New York: Springer.
- Troitzsch, K. G. (2009). Social processes, simulation models of. En: Meyers, (Ed), *Computational complexity. Theory, techniques, and applications*. New York: Springer.
- Turnitsa, Ch. & Tolk, A. (2010). *Ontology for modeling and simulation. Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*.
- Uhrmacher, A. & Weyns, D. (Eds.) (2009). *Multi-agent Systems: Simulation & applications*. Boca Raton: CRC.
- Valore, Paolo (2006). General and formal ontology. En: Valore, P. (Ed.) (2006). *Topics on General and Formal Ontology*. Milán: Polimétrica.
- van Dam, K. H. (2009). Capturing socio-technical systems with agent-based modelling. PhD thesis. Delft, the Netherlands: Delft University of Technology.
- van Dam, K., Nikolic, I., Lukszo, Z. (Eds.) (2013). *Agent-based modelling of socio-technical Systems*. New York: Springer.

Wasserman, S. & Faust, K. (1994). *Social Network Analysis: Methods and Applications*. Cambridge, ENG and New York: Cambridge University Press.

Wetherell, C., Plakans, A. & Wellman, B. (1994). Social networks, kinship, and community in eastern Europe. *Journal of Interdisciplinary History*, 24(1), 639–663.

Wolfram, S. (1985). Cellular automata as models of complexity. *Nature*, 311 (5985). 419-424.

Wooldridge, M. J., & Jennings, N. R. (1995). Intelligent agents: Theory and practice. *Knowledge Engineering Review*. 10 (2), 49-62.

Zagzebski, L. (2009). *Epistemology*. Belmont: Wadsworth.

1. Escuela de Administración. Universidad del Rosario. Profesor Principal. andres.hernandez@urosario.edu.co

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015
Vol. 38 (Nº 43) Año 2017
Indexada en Scopus, Google Schollar

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a webmaster]

©2017. revistaESPACIOS.com • Derechos Reservados