

EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XIX JORNADAS

VOLUMEN 15 (2009)

Diego Letzen
Penélope Lodeyro

Editores



ÁREA LOGICO-EPISTEMOLÓGICA DE LA ESCUELA DE FILOSOFÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y HUMANIDADES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons atribución NoComercial-SinDerivadas 2.5 Argentina



Simulaciones Computacionales y Materialidad: El Caso en Ciencias Cognitivas

*Diana Luz Rabinovich**

1. Introducción

La literatura acerca de simulaciones computacionales (SC) contiene una problemática recurrente: la legitimidad epistémica de las simulaciones. Se han propuesto diferentes criterios para evaluar tal legitimidad. Unos se orientan hacia las especificidades de la herramienta computacional en lo que refiere a que: son heurísticas para la comprensión de modelos (Humphreys 1990); poseen la capacidad de modelar aspectos dinámicos (Hartman 1995); ofrecen una capacidad de resolución potenciada (Winsberg 2003). Otros, en cambio, se focalizan en destacar las capacidades experimentales, o análogas a éstas, que tienen las SC en lo que respecta a la capacidad: de mediación entre teorías y mundo (Guala 2002); de construcción analógica para la intervención (Morgan 2000); de intervención sobre modelos (Parker 2008); de medición de 'nuevos' fenómenos (Morrison 2009).

Este trabajo explora la significatividad epistémica de las SC en el campo de las ciencias cognitivas (CC). Se abordará para ello diferentes tipos de simulaciones utilizadas, con la intención de destacar las especificidades que un enfoque teórico particular puede imponer a la hora de evaluar la legitimidad epistémica de las SC.

En primer lugar, se reubicarán conceptos que tienen un significado diferente en diversos contextos: en especial el de Materialidad y de SC. En segundo lugar se reconstruirá el rol de las SC en CC y se presentarán tres casos ejemplificativos. Por último, se trazarán algunas sutilezas respecto de qué tipo de SC se trabajan en CC, y qué tipo de validez epistémica puede adscribirseles.

2. Filosofía de las Simulaciones Computacionales y Materialidad

Una definición de simulación que se repite en la bibliografía es la de Hartman “[u]na simulación imita un proceso mediante otro proceso”¹. Otra definición pertinente es la provista por Newell y Simon: “[d]efiniremos simulación más específicamente como un método para analizar el comportamiento de un sistema computando su curso temporal para unas condiciones iniciales dadas, y valores paramétricos dados.”² Con base en estas definiciones las SC pueden, en principio, concebirse como herramientas computacionales para simular, capaces de lidiar en el tiempo con los algoritmos diseñados para la construcción de modelos.

Ahora bien, los programas de simulación, además de proyectar en el tiempo los valores generados por modelos y conjuntos de modelos, permiten ejecutar las operaciones que un laboratorio matemático de computadoras contiene; posibilitan el tratamiento de sistemas complejos; pueden integrarse a diferentes soportes computacionales y recibir *inputs* tanto analógicos como digitales; y, a la vez, tienen la capacidad de generar visualizaciones con las que

* UNC

se permite una interpretación directa de la manipulación de los datos, e inclusive intervenirlas como si fuesen reales³.

Al parecer, la característica particular de las técnicas de simulación, además de la capacidad gráfica y de potencia de procesamiento es que cuentan con una serie de mecanismos de aproximación que permiten que las soluciones sean 'novedosas' o diferentes a las previstas por una solución analítica (lógica) corriente: producen estimaciones acerca del posible comportamiento de un sistema complejo.

Ahora bien, esta especificidad de la herramienta computacional, en muchos casos, parece no bastar a la hora de querer justificar una validez epistémica análoga a la de la experimentación, para la simulación. Así, las SC son evaluadas en atención a los factores claves que hacen de un experimento capaz de generar conocimiento genuino. Estos factores serían, por una parte, los relacionados con la potencia que la experimentación tiene para controlar casos *envueltos* en las regularidades físicas naturales, para descubrir regularidades imprevistas, modificar los modelos teóricos y aportar a la construcción de nuevos. Por otra parte, serían aquellos relacionados meramente con la capacidad que tenemos de intervenir, manipular y medir el sistema sobre el que se experimenta.

A la vez, la apelación a la materialidad es un evento repetido a la hora de evaluar el poder epistémico de las SC. En este contexto, los autores sostienen diferentes roles para la materialidad. Por ejemplo: para Morgan la legitimidad epistémica de las simulaciones puede medirse por el grado de similitud material, o materialidad, que la simulación guarda respecto del sistema simulado; es decir, por la capacidad que tienen las simulaciones para introducir datos analógicos en el modelado, y así de intervenirlo de acuerdo a las limitaciones propias de éstos. Para Parker en cambio, la validez epistémica de las simulaciones (aquellas definibles como 'estudios de simulación computacional'⁴) tiene que ver más bien con la potencialidad de las simulaciones para intervenir sobre sistemas matemáticos abstractos capaces de modelar, con fines específicos, ciertos aspectos del sistema que se quiere, en definitiva, conocer. De acuerdo al planteamiento de Parker, la computadora programada es el sistema material sobre el que se experimenta y la similitud que el modelo preserva con el sistema-destino está estructurada de acuerdo a criterios de relevancia investigativos, no se trata exclusivamente de emular los caracteres que describen un sistema material real. En este sentido, la validez de la simulación depende de sus potencialidades para la intervención del sistema computacional pero debe existir una justificación anexa para trasladar los resultados de la simulación a afirmaciones sobre el sistema real.

En esta línea, vale tener en cuenta que cuando hablamos de materialidad nos referimos, o bien a las características naturalmente analógicas, en gran medida desconocidas y aún no modeladas de los fenómenos naturales, o bien a la naturaleza material de la herramienta computacional que nos permite intervenir y manipular la información virtual. Esto último, en palabras de Parker: "[e]s el comportamiento observado de un sistema físico/material -la computadora digital programada- el que constituye el resultado inmediato de un experimento computacional."⁵ Ahora bien, veremos a continuación, que esta segunda característica, en algunos casos, no basta por sí sola para garantizar la validez epistémica de una simulación.

3. Ciencias Cognitivas y Simulaciones Computacionales

Las CC son reconocidas como tales desde que en los '50 un conjunto de disciplinas ofrece estudios específicos capaces de echar luz sobre el funcionamiento y la naturaleza de la cognición. En este contexto la computadora se vuelve un medio experimental para el estudio de los mecanismos internos implicados en la conducta, y se abre el campo para la generación de múltiples y diversos modos de utilizar los soportes digitales a fin de simular habilidades mentales.

Pueden identificarse dos corrientes principales en el terreno de las CC. Una es la que adopta la metáfora computacional, para estudiar lo mental por analogía con los programas instanciables en una computadora. Nace allí la Inteligencia Artificial (IA) con el ideal de simular los procesos mentales de búsqueda y resolución de problemas para apoyar experimentalmente la hipótesis funcionalista (Putnam 1960). Otra es la que cuestiona que los aspectos necesarios para el modelado cognitivista clásico constituyan elementos suficientes para el estudio de la cognición, y que los intereses epistémicos de las CC puedan agotarse en explicaciones meramente funcionales y relativas al estadio adaptativo que presenta la cognición humana. Las CC corporizadas rastrear entonces los roles que puedan jugar el sistema de control, el cuerpo y el ambiente, a lo largo del tiempo, en la emergencia de comportamientos inteligentes.

Las SC utilizadas en el contexto de las nacientes CC poco tienen que ver con los sofisticados programas que describí en el apartado anterior. Las primeras simulaciones de los procesos abstractos de búsqueda, almacenamiento y recupero de información consisten en programas que reflejan, en el tiempo, las funciones computacionales básicas de evaluar, buscar y recuperar soluciones que ya estaban analíticamente integradas en la programación.

En cambio, las SC que permiten estudiar a los agentes cognitivos corporizados y situados son aquellas ocupadas con la simulación de procesos complejos, típicamente modelados subsimbólicamente; es decir, aquellos donde los elementos básicos de la simulación son especificados numéricamente y sirven para simular el comportamiento de sistemas físicos.

Esto queda más claro en palabras de Simon y Newell:

Hay al menos dos aplicaciones importantes de este tipo [de simulaciones]: para explorar los modelos más complejos de la teoría del aprendizaje estocástico, y teorías que caracterizan el sistema nervioso central como una red de neuronas con umbrales variables en las sinapsis. En los dos casos, la computadora es usada (...) para analizar el comportamiento de un sistema matemático compuesto de variables numéricas que interactúan. Nosotros estaremos ocupados con la simulación de sistemas cuyos elementos son mayormente, sino enteramente, no-numéricos. ⁶

Fue en el seno de la IA tradicional que la SC tuvo estas características, pues, como trasluce la cita, en la misma época ya eran utilizadas sofisticadas SC capaces de tratar sistemas complejos. Es recién a partir del desarrollo de modelos conexionistas en CC que las SC, desarrolladas en IA, se han volcado hacia la utilización de la herramienta computacional para hacer exploración del comportamiento posible de sistemas subsimbólicos. Es decir, se debe diferenciar al primer uso que tuvo la SC en CC de los posteriores: en los que se utilizó para el estudio y modelado de fenómenos para los que en general no hay una teoría totalmente articulada, ni aún ecuaciones completas para su representación.

El estudio cognitivo recae así, crecientemente en el estudio de interacciones dinámicas generadas en sistemas físicos complejos en los que los sistemas de control son tan sólo un ingrediente parcial, y en los que tiende a transparentarse la poca valía técnica del lenguaje mentalista. Tal como apoya Steels,

[p]or décadas, el campo de la IA (...) se ha encontrado focalizada, y sus mayores éxitos han estado centralizados, en los aspectos cognitivos de alto nivel como los de resolución experta de problemas. Recientemente, un subgrupo de la comunidad de la IA ha comenzado a centrarse en los aspectos corporizados de la cognición y así a entablar alianzas con la biología y las investigaciones en vida artificial. Esto inauguró una 'ruta desde la vida artificial hacia la inteligencia artificial'.⁷

3.1 Newell y Simon: IA clásica

Las SC que se desarrollaron en el seno de la IA clásica han sido variadas, y es difícil pensarlas como pertenecientes a un conjunto. Sin embargo, han compartido una serie de características comunes. Los modelos simulacionales han mantenido, en general, fidelidad de principio en cuanto a la suposición funcionalista y la despreocupación por la representación de los sustratos y mecanismos capaces de originar tales habilidades, la concentración en habilidades cognitivas de alto nivel, y el recorte del objeto a la unidad mente-cerebro.

En general, la hipótesis del 'sistema físico de símbolos' de Newell y Simon puede ser vista como el programa de investigación de la IA clásica. Los autores sostuvieron que el proceso privilegiado que hace a la manipulación de símbolos es el de búsqueda. Tal como Simon escribió:

En la mayoría de las discusiones teóricas, la resolución de problemas es caracterizada como un proceso de búsqueda a través de un árbol cuyos nodos son estados de cosas, o situaciones, y cuyas ramas son operaciones que transforman una situación en otra. El gráfico contiene un nodo inicial y uno o más nodos-metas. Resolver un problema es encontrar una secuencia de operaciones que transformen la situación inicial en una situación de meta [...].⁸

El 'teórico lógico' (Newell y Simon 1956) condensó estas prescripciones para el modelado de los procesos cognoscitivos. Es un programa capaz de explorar un árbol de búsqueda; consta de una serie de elementos primitivos (variables o sentencias atómicas) y un conjunto de relaciones primitivas (conectivas) capaces de articular tales elementos atómicos en oraciones moleculares (expresiones). El programa tiene la meta de probar que alguna de estas oraciones moleculares sea o no un teorema: esto es, que pueda ser derivada de una serie de oraciones primitivas o axiomas, por aplicación de una serie de reglas de inferencia.

3.2 Beer: Biorrobótica

Como representante de la segunda corriente arriba mencionada, Brooks (1991) sugirió que deberíamos dejar, por el momento, de lado nuestras intuiciones antropomórficas sobre procesamiento de símbolos, representaciones internas, cognición de nivel alto, y centrar en cambio la atención en la interacción real que los agentes tienen, y han tenido, con el mundo.

Así, se comenzó a trabajar con agentes reales y autónomos, y se los situó en medios ambientales reales en los que debieran ahora desenvolverse. El caso que tomaré como ejemplo del Roboticismo Evolucionista en IA corporizada es el de las simulaciones de cognición de nivel

de insecto desarrolladas por Beer *et al* (1997). Estas investigaciones hacen uso de SC para estudiar el control neuronal del comportamiento adaptativo, esto es, cómo el comportamiento se adapta satisfactoriamente a los cambios ambientales. Sus modelos involucran las partes relevantes del sistema nervioso, del cuerpo y del medio ambiental del agente.

El énfasis está puesto en la simulación global de comportamiento observable. No hay prescripciones específicas acerca del tipo de estado interno o de contenido semántico que pudiera tener la programación del controlador. Beer utiliza como parámetros para la codificación de la simulación del sistema de control el modelado conexionista, y el lenguaje matemático y el marco teórico propios de la teoría de los sistemas dinámicos. El modelo representa un insecto de seis patas -cada una provista de sensores, marca-pasos y reguladores de balance- situado en un terreno irregular. Las terminales de cada pata están conectadas entre sí y a la neurona de comando. El ritmo coordinado por las neuronas marca-pasos depende linealmente del nivel de excitación global que el conjunto de estas neuronas reciben.

3.3 Bongard: Vida Artificial

Otro caso relevante para caracterizar a la segunda corriente en CC es el de las investigaciones en Vida Artificial. El caso que tomaré aquí es uno ocupado con agentes simulados en el contexto de un medio igualmente virtual. Se trata de evolucionar el comportamiento de agentes muy simples, pero además, lograr que, al no estar preespecificadas las posibles morfologías del agente en el genotipo, éstas puedan ser generadas en 'equilibrio ecológico' con las características ambientales que le constriñen en su desarrollo primario.

El modelado de la simulación de Bongard (2002) consiste en una estructura reticular que sirve para explorar las posibilidades de expresión génica. Se trabajó con estructuras teóricas denominadas 'redes genéticas regulatorias' (Kauffman 1993) para enfatizar que "los genes no actúan en soledad sino que interactúan entre ellos utilizando señales químicas para guiar su desarrollo". El genoma recibe inyecciones químicas virtuales que representan factores físicos medioambientales tales como gravedad, viscosidad, solidez, etc¹⁰. Ciertos genes del genoma reaccionan ante estos estímulos activándose o desactivándose, la activación de cierto gen provoca la estimulación de otros genes, así, algunos estímulos afectan el crecimiento global del agente. El modelo de la simulación permite estudiar las maneras en que las condiciones ambientales favorecen, o no, el desarrollo de ciertas morfologías útiles para habilidades específicas en los agentes simulados.

4. Simulaciones Computacionales en Ciencia Cognitivas y Materialidad

De acuerdo a lo observado en CC, por una parte tenemos simulaciones de procesamiento simbólico, y por otra, de interacciones subsimbólicas. Paralelamente, por un lado se trabaja con simulaciones virtuales y por otro, además, con simulaciones híbridas que se integran a *hardwares* específicos. Es decir, ya no es el nivel simbólico el privilegiado, por una parte, y, por otra, ha cobrado severa importancia el estudio de las constricciones físicas-biológicas de los soportes y ambientes donde pueda surgir la cognición.

Una diferencia crucial entre clasicistas y corporizados es la importancia que tiene el soporte físico específico que constriñe, tanto corporal cuanto ambientalmente, el desempeño, desarrollo y evolución de los agentes cognitivos. Esto es, mientras que para el clasicismo, por la asunción

funcionalista, el *software* de la simulación representa los mecanismos abstractos —el ‘sistema físico de símbolos’— que *hacen* a la cognición; para los corporizados la simulación más bien permite explorar modelos de interacciones a largo plazo entre factores físicos y biológicos.

Pylyshyn (1978), en el contexto del debate crítico del cognitivismo funcionalista suscitado por Haugeland (1978), realiza una comparación entre ‘IA’ y ‘simulación cognitiva’. Sostiene que entre ellas no habría una diferencia crucial: simplemente se trata de una distinción en cuanto al alcance, nivel de generalidad, o rango de tareas representadas. La distinción entre resolución de problemas mediante programas computacionales capaces de simular capacidad funcional inespecífica, y la simulación de habilidades cognitivas no reflejaba la sustancial división de aguas que con el tiempo se fue radicalizando inextricablemente.

Pylyshyn refería con ‘simulación cognitiva’ a los estudios realizados específicamente para simular procesos cognitivos humanos, y con ‘IA’ a aquellos concentrados en el desempeño computacional para la resolución de tareas informáticas complejas. Sostenía en su trabajo que la IA introducía de hecho constreñimientos empíricos: aquellos propios de las leyes naturales que determinan tanto los mecanismos computacionales. De todas maneras, sostuvo además, los datos recogidos sobre los constreñimientos físicos de los sistemas cognitivos reales deberían ser archivados hasta tanto no se tuviese modelos capaces de articularlos en el contexto de una teoría unificadora.

Así, puede comenzar a deshulvanarse el papel de la materialidad en CC.

Si se mantiene una tesis funcionalista, bajo el supuesto de que las habilidades cognitivas consisten meramente en funciones independientes de su sustrato material, valdrá la capacidad que posee la herramienta computacional *qua* sistema material —en línea con el planteo de Parker— para intervenir experimentalmente un modelo abstracto del procesamiento de información. En este sentido, dado que el sistema estudiado consiste eminentemente en un ‘sistema físico de símbolos’, las posibilidades de intervención dadas por la herramienta computacional justifican la calidad experimental de la simulación: la simulación no precisa de otra justificación que la proporcionada por la hipótesis funcionalista.

Si, en cambio, se investiga cómo las funciones cognitivas dependen estrechamente de la dinámica acoplada de factores físicos y biológicos, la intervención de la simulación sobre funciones abstractas precisará de una justificación anexa para validarse como experimento.

Las simulaciones dadas en el seno de las CC dejan de prescindir de los aspectos materiales del fenómeno real investigado. Deberá entonces justificarse la similaridad relevante de los modelados subsimbólicos utilizados. Se apela, para ello, a que las programaciones son lo suficientemente flexibles y potentes como para involucrar una cantidad de variables considerable, y con ellas significar las dinámicas complejas de los sustratos en juego y los procesos de emergencia individuables. Pero crucialmente, cobran relieve los aspectos relacionados con la integración de *inputs* analógicos y la posibilidad de intervenirlos como si fuesen reales: esto es, de integrar grados de materialidad y de trabajar modelos visuales realistas para con ello explorar la capacidad computacional de medición de fenómenos inusitados condicionados por factores analógicos. Puede entonces caracterizarse a los casos de la Robótica Evolucionista y de Vida Artificial, dado su interés por el origen de los comportamientos cognitivos como emergentes de la dinámica de fenómenos físicos y biológicos complejos, como

aquellos para los que la simulación cobra vital importancia para la intervención de dinámicas a largo plazo y de los procesos de emergencia. En este contexto, las simulaciones deben satisfacer el requisito de similaridad relevante, en línea con Parker, y justificar con ello que tiene validez epistemológica la intervención de modelos computacionales. En este punto, la justificación por similaridad relevante parece no ser todo lo que quisiéramos: dado que se supone los procesos dependen estrechamente del comportamiento de sistemas físicos y biológicos, la similaridad relevante precisa, en principio, quedar descripta en términos de causalidad material. Los procesos, en definitiva funcionales, de complejidad y de emergencia se conciben *dependientes* de dinámicas físicas y biológicas. Es decir, la intervención cobra valor epistémico en la medida en que puedan modelarse aspectos físicos y biológicos cruciales para los procesos involucrados. Y esto se da principalmente a partir de la introducción de sustratos materiales y datos analógicos en la simulación, en línea con las exigencias de Morgan.

Notas

¹ Hartmann (1996), pág. 83.

² Newell y Simon (1975), pág. 262.

³ Morgan (2000) trata con detenimiento casos de simulaciones, que llama experimentos realizados virtualmente, en las que el modelado recibe la mayoría de sus preespecificaciones desde medios analógicos, logrando con ello que la intervención de la simulación tenga las restricciones propias del objeto real modelado.

⁴ Cfr. Parker (2008), págs. 4-5.

⁵ Parker (2008), pág. 21.

⁶ Simon y Newell (1963), pág. 2.

⁷ Steels (1994), pág. 75.

⁸ Simon (1971), pág. 2.

⁹ Pfeifer y Bongard (2007), pág. 196.

¹⁰ Por ejemplo en McCaskill *et al* (2007) se trabaja directamente con medios químicos reales insertos en la simulación para aprovechar los datos analógicos físicos.

Bibliografía

Beer, R., Quinn, R., Chiel, H., Ritzmann, R. (1997) "Biologically Inspired Approaches to Robotics?", *Communications of the ACM* vol. 40, 3, 31-38.

Bongard, J. (2002) "Evolving Modular Genetic Regulatory Networks", *Proceeding Congress on Evolutionary Computation*, IEEE Press, 305-311.

Brooks, R. (1991a) "Intelligence Without Representation" en Haugeland, J. (ed.) (1997), *Mind Design II*, MIT, 396-397.

Guala, F. (2002) "Models, Simulations, and Experiments" en Magnani, L., Nersessian, N. (eds.) *Model-Based Reasoning. Science, Technology, Values*. Kluwer, 59-74.

Hartmann, S. (1996) "The World as a Process: Simulation in the Natural and Social Sciences" en Hegselmann, R. *et al* (eds.) *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View*, Kluwer, 77-100.

Haugeland, J. (1978) "The Nature and Plausibility of Cognitivism", *Behavioral and Brain Sci.* 2, 215-260.

Humphreys, P. (1990) "Computer Simulations", en Fine, A., Forbes, M. y Wessels, L. (eds.) *Philosophy of Science Association Proceedings Vol. 2*, 497-506.

McCaskill, J. *et al* (2007) "Evolutionary Self-Organization in Complex fluids" *Phil. Transactions B* 362, 1763-1779.

Morgan, M. (2000) "Experiments Without Material Intervention: Model Experiments, Virtual Experiments and Virtually Experiments", en Radder, H. (ed.) *The Philosophy of Scientific Experimentation*, Pittsburgh, 2003.

Morrison, M. (2009) "Models, Measurement and Computer Simulation: the Changing Face of Experimentation", *Philosophical Studies* 143, 33-57.

Newell, A., Simon, H. (1956) "The Logic Theory Machine: A Complex Information Processing System. *IRE Transactions on Information Theory* 2, 61-79.

-
- _____ (1975) "Simulation. Individual Behavior", para *Int. Encyclopedia of the Social Sciences*, <http://diva.library.cmu.edu/webapp/simon/item.jsp?q=/box00079/fld06430/bdl0002/doc0004/>
- Parker, W (2008) "Does Matter Really Matter? Computer Simulations, Experiments and Materiality", *Synthese*, Frigg, Hartmann, Imbert (eds.). http://www.romanfrigg.org/Links/MS1/Synthese_MS1_ParkerW.pdf
- Pfeifer, R., Bongard, J. (2007) *How the Body Shapes the Way we Think*, MIT
- Pylyshyn, Z. (1978) "Computational Models and Empirical Constraints", *Behavioral and Brain Sciences* 1, 93-127.
- Simon, H. (1971) "The Theory of Problem Solving", *Complex Information Processing* N°174. <http://diva.library.cmu.edu/webapp/simon/item.jsp?q=/box00010/fld00688/bdl0001/doc0003/>
- Simon, H., Newell, A. (1963) "A Survey of Simulations of Cognitive Processes", CIP working paper 51, <http://diva.library.cmu.edu/webapp/simon/item.jsp?q=/box00008/fld00569/bdl0001/doc0001/>
- Steels, L. (1994) "The Artificial Life Roots of Artificial Intelligence" *Artificial Life Journal* 3, vol. 1, 75-110.
- Winsberg, E. (2003). "Simulated experiments. Methodology for a virtual world". *Phil. of Science* 70, 105-125.