

# EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XXII JORNADAS

VOLUMEN 18 (2012)

Luis Salvatico  
Maximiliano Bozzoli  
Luciana Pesenti  
Editores



ÁREA LÓGICO-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: la relevancia de sus usos y contextos

*Marisa Velasco\* y Pío García<sup>o</sup>*

### Introducción

La mayoría de las simulaciones computacionales utilizadas en ciencia constituye un tipo de manipulación de estructuras matemáticas denominada a veces “experimento numérico. La importancia de estos métodos se corresponde con la importancia que le han dado los filósofos a esta clase de simulación. Además, tanto las reminiscencias de la expresión “experimento numérico”, como el intento de ubicar las simulaciones computacionales en el contexto de los métodos científicos ha motivado una comparación con los experimentos tradicionales. Si bien la motivación original para esta comparación provino de los experimentos numéricos, el análisis se extendió a las diversas formas de simulaciones computacionales que son parte de las prácticas científicas. De esta forma, es habitual encontrar discusiones filosóficas acerca de las semejanzas y diferencias entre simulaciones y experimentos (Cf. Guala, 2003; Morgan, 2005; Morrison, 2009; Winsberg, 2009). Para muchos esta cuestión debe abordarse en términos ontológicos. En este sentido se ha presentado la relación entre simulaciones, experimentos y el sistema al cual se refieren en términos de semejanza formal y material (Guala, 2003). Inclusive se ha sugerido la categoría de objeto semimaterial para destacar la cercanía entre simulación y experimento (Morgan, 2005). Pero para nosotros este no ha resultado un enfoque fructífero.

Una perspectiva que ha sido sólo parcialmente explorada es la de estudiar las formas en las cuales se usan y aplican las simulaciones computacionales. Estimamos que este abordaje tiene ventajas tanto sistemáticas como epistémicas.

En este trabajo nos propondremos analizar las simulaciones computacionales en ciencia desde la consideración de sus usos, lo que nos permitirá poner de relieve algunos aspectos de su función como “herramientas epistémicas”. En esta ocasión, nos detendremos particularmente en los usos exploratorios de las simulaciones y en las expectativas asociadas con las hipótesis y parámetros de la simulación. Para poner de relieve esta función de las simulaciones se debe tomar en cuenta su contexto de aplicación. Con este objetivo organizaremos el trabajo de la siguiente manera. Primero, presentaremos algunas de las formas en las cuales se ha caracterizado el contexto de aplicación para las simulaciones. Luego, analizaremos el ejemplo de una simulación computacional de un proceso de extinción biológica con el objetivo de aclarar nuestra propuesta. Finalmente, sugeriremos qué aspectos y dimensiones se deberían tomar en cuenta para caracterizar las simulaciones como herramientas epistémicas.

### Funciones de las simulaciones computacionales y reconstrucciones filosóficas

Poner de relieve los contextos de aplicación de las simulaciones es algo que ya ha sido sugerido por varios filósofos. Winsberg (2009), Parker (2009), Morgan (2005) y Humphreys (2004), entre otros, han señalado de una u otra forma estos aspectos, pero con fines diferentes.

---

\* UNC – Secyt, marisav@gmail.com

<sup>o</sup> UNC – Secyt, piogarcia@gmail.com

Así, por ejemplo Humphreys ha defendido la importancia del ámbito de aplicación de las teorías, intentando situar a las simulaciones computacionales en el horizonte del uso más general de las computadoras en ciencia. Este filósofo ha propuesto la expresión "ciencia computacional" para hacer referencia a las múltiples formas en las cuales son utilizadas las computadoras en el campo científico. Algunos de estos usos deberían entenderse como una ampliación de nuestras capacidades epistémicas. Así como los instrumentos permiten "ampliar" nuestras capacidades naturales de detección, de manera semejante las computadoras nos permiten "ampliar" nuestras capacidades de cálculo y de esta manera "extender" el tipo de representación matemática utilizado en ciencia. Humphreys propone esta concepción a partir del contraste entre soluciones analíticas y soluciones numéricas. En el primer caso se privilegian los aspectos representacionales, mientras que en el segundo se destaca la capacidad de cálculo. Humphreys sugiere la noción de plantilla para dar cuenta de estos niveles de análisis. Esta plantilla puede ser teórica o computacional dependiendo de las posibilidades de realizar cálculos a partir de la misma. Aunque existen diferencias en el grado de especificidad entre una plantilla y un modelo, a los fines de este trabajo se pueden ver como nociones intercambiables.

En general una plantilla o modelo teórico suele incorporar idealizaciones que dificultan su aplicación. Pero la remoción de idealizaciones puede transformar una plantilla teórica para la que se tiene una solución analítica en una para la que sólo es posible una aproximación. Cuando se obtiene una plantilla con la cual se pueden hacer cálculos de manera efectiva y se pueden realizar predicciones adecuadas se dice que se tiene un plantilla computacional.

Esta manera de entender a las simulaciones computacionales tiene sus evidentes ventajas, aunque la "aplicación" de las teorías a la que se refiere Humphreys se circunscribe a los métodos aproximativos usados para solucionar las ecuaciones del modelo o de la plantilla computacional.

En relación con el ámbito de construcción de modelos, Humphreys ha avanzado en la especificación de qué dimensiones se deberían tomar en cuenta. La construcción de una plantilla o modelo computacional supone una "justificación inicial" que no sólo sirve para sostener dicho modelo sino principalmente para modificarlo y ajustarlo. De aquí que la plantilla tenga una "interpretación intencional" que sirve para "guiar" la forma en la cual puede ser modificada luego de una contrastación inicial considerada no adecuada o insuficiente. La modificación de la plantilla no sería a partir de consideraciones metodológicas generales o ciega, sino conducida por los compromisos y supuestos iniciales. Estos supuestos incluyen aproximaciones, idealizaciones, abstracciones, compromisos ontológicos y restricciones propias del fenómeno. Así, una idealización que ha sido propuesta con la finalidad de hacer al modelo computacionalmente menos costoso, puede ser revisada introduciendo aspectos más realistas.

Tomar en cuenta la justificación inicial asociada con los supuestos que constituyen una plantilla computacional colabora con la especificación del contexto de aplicación de una simulación, y principalmente ayuda a entender las funciones epistémicas de esta última, aunque no da cuenta de todos sus aspectos relevantes. Por otra parte, no hay en la presentación de Humphreys una referencia al "contexto de aplicación" de las simulaciones que incluya las formas en las cuales los científicos utilizan, manipulan y modifican esta herramienta.

El contexto de aplicación tal como lo entiende Humphreys supone una teoría robusta a partir de la cual se deriva una plantilla computacional. Sin embargo, esta caracterización no permite dar cuenta de los roles que cumplen las simulaciones computacionales en casos como el que presentaremos a continuación, donde no es posible apelar a una teoría de este tipo. Aunque las consideraciones antes mencionadas sobre construcción de modelos resultan particularmente relevantes para el análisis de este caso.

### Un caso de simulación

Veamos un ejemplo para poder hacer más clara nuestra presentación. De acuerdo con los datos disponibles, hace aproximadamente 11000 años ocurrió una extinción a gran escala de mamíferos grandes (más de 40 kilos) en América, tales como Mamuts o Mastodontes.

Hacia el final del pleistoceno hubo una extinción importante, pero la de América tenía entre otras particularidades su rapidez (entre 1000 y 1200 años) y su localización acotada. Entre las hipótesis que se propusieron para dar cuenta de este fenómeno se destaca la de cambio climático, enfermedades infecciosas y los factores humanos.

Las simulaciones computacionales se suelen utilizar en lugar de otra práctica científica cuando esta última es difícil de llevar adelante o imposible. El problema planteado por la extinción tardía del pleistoceno puede verse como un ámbito especialmente adecuado para este tipo de uso de las simulaciones computacionales.

Alroy (2001) implementó simulaciones computacionales para estudiar modelos acotados como el propuesto por Martin (Martin, 1973, Martin & Wright, 1967) para explicar la extinción de grandes mamíferos en América durante el pleistoceno. La explicación propuesta por Martin para dar cuenta de este fenómeno es que los seres humanos provocaron la extinción a través de la caza.

La propuesta original de Martin fue realizada en 1967. En los años subsiguientes desarrolló esta idea y ajustó las hipótesis auxiliares. En un artículo publicado en *Science* (Martin, 1973), sugiere que luego de que los seres humanos hubieran logrado cruzar el Estrecho de Bering hacia América del Norte se encontraron con una presas fáciles de cazar dada su "inexperiencia". Esta situación devino en una "explosión demográfica humana sin precedentes" y luego en la extinción masiva de la "megafauna" de esa región. Luego de 1000 años de haber llegado a Alaska, los seres humanos habrían llegado al límite sur de América del Sur y hubo una disminución de la población en consonancia con la disminución de recursos.

Sin embargo, la hipótesis original de Martin no se ajustaba bien con los datos conocidos. No había en América del Norte tantos sitios de caza como los encontrados en Asia o Europa, y era escasa la evidencia de armas asociadas con animales muertos. Aquí entraba en juego la hipótesis auxiliar de la "inexperiencia" o la "ingenuidad" de las presas.

Esta hipótesis auxiliar no parece suficiente para explicar los datos antes mencionados. En 1975 Martin realiza una primera simulación de esta hipótesis, tomando como parámetros el tamaño, cantidad y tasa de reproducción de la megafauna de la región y la tasa de expansión de los seres humanos. Como comentan algunos críticos (Fosha, 2006), en este trabajo se considera que el "único evento (relevante)" es el arribo de los cazadores (*big game hunters*), lo cual es cuestionable a la luz de la evidencia de la importancia del cambio climático. A pesar de ello, Martin considera que este ejercicio de modelización logró hacer "viable" (*feasible*) esa hipótesis. Sin embargo, hasta las simulaciones desarrolladas por Alroy la mayor

parte de la comunidad científica consideraba implausible la hipótesis de la caza, sosteniendo en su lugar un conjunto diverso de hipótesis para explicar el fenómeno en cuestión.

La modelización utilizada por Alroy en su simulación se aproxima al problema intentando estimar la relación entre el crecimiento demográfico de la población humana, la capacidad de caza y la extinción de especies. A partir de parámetros relevantes para poner a prueba la hipótesis (como distribución de los seres humanos, capacidad de caza, peso de las presas, entre otros) se generan “escenarios” tomando en cuenta la dimensión temporal. En este sentido, Alroy dice que su modelo adopta un punto de vista “ecológico” intentando dar cuenta de la relación entre el crecimiento de la población humana, la desaparición de algunas especies y la subsistencia de otras.

Sin embargo, existen diversas modelizaciones y simulaciones de este fenómeno, con diferencias importantes en sus supuestos. Estas diferencias no sólo tienen que ver con el peso relativo que le otorgan a cada uno de los parámetros, sino también con la selección de los mismos o con la forma en la cual están relacionados. Así, algunos suponen que para que el modelo tenga valor explicativo deberá dar cuenta de la muerte de cada uno de los individuos de una especie, mientras que otros adoptan una perspectiva general. Incluso en algunos casos se señala la relación entre la simplicidad del modelo y el “poder predictivo” como una diferencia a tomar en cuenta (Diniz-Filho, 2004).

De todas formas, aun cuando el aspecto de selección de parámetros es crucial, no alcanza para dar cuenta de las formas en las cuales son aplicados estos modelos. Así, deberían considerarse, además, cuestiones como la ponderación epistémica de los parámetros, sus valores y las consecuencias metodológicas que se siguen de todo esto. Una diferencia básica podría plantearse entre parámetros que tienen valores conocidos “con razonable certeza” (Alroy, 2001, p. 1893) y aquellos parámetros cuyos valores “no están suficientemente restringidos”. Entre los primeros estarían, por ejemplo, las diferencias entre las especies consideradas “presas” en relación con la distribución geográfica, la masa corporal y la densidad poblacional, o la fecha en la cual podrían haber entrado en escena los seres humanos. Entre los segundos estarían, entre otros, el número inicial de seres humanos que entraron en la región, la habilidad para cazar y su “selectividad para con las presas”. La diferencia entre las expectativas y las ponderaciones epistémicas de estos valores influye en la plausibilidad de algunos escenarios de mundos posibles generados por la simulación. Complementariamente, la variación sistemática de los parámetros permite producir configuraciones o escenarios con diferencias importantes. La variación de parámetros puede hacerse de tal manera que se privilegien los datos considerados más “seguros”. Pero, igualmente importante es la generación de mundos *posibles* aunque alternativos al “real”. Así, por ejemplo, no es sencillo lograr una combinación de parámetros que genere un escenario en el cual todas las especies sobrevivan. Los pocos ensayos que llegan a esta predicción suponen una densidad de la población humana muy baja (menor de 0,13 cada 100km<sup>2</sup>). A su vez, pocas combinaciones de parámetros producen como resultado la extinción de todas las especies de grandes mamíferos (con las mismas excepciones que los datos disponibles). Por otra parte, estas últimas combinaciones no requieren que la densidad poblacional humana inicial sea alta, tal como sostenían los críticos de la hipótesis de la caza.

A partir de estas consideraciones se puede destacar que la selección, manipulación y variación sistemática de parámetros es un aspecto por el cual algunos tipos de simulaciones pueden ser utilizadas como herramientas epistémicas. De esta forma, la manipulación de

parámetros permite implementar simulaciones que tengan la suficiente plasticidad como para explorar espacios ("escenarios") de posibilidades. Finalmente la generación de escenarios posibles ayuda en la ponderación epistémica de los supuestos involucrados en su construcción.

### Consideraciones finales

En la introducción de este trabajo señalábamos que una perspectiva habitual en el estudio de las simulaciones consiste en compararlas con los experimentos. El caso mencionado en la sección anterior podría ser visto como uno en el cual las simulaciones se utilizan en lugar de experimentos. Pero esto no implica que necesariamente se deba ver a las simulaciones en contraste o como sustitución con experimentos. Parece una estrategia más fructífera intentar indagar en las particularidades que tiene el uso de las simulaciones en casos como el reseñado. De esta manera se podrían entender a las simulaciones como herramientas epistémicas. Aunque la expresión "simulación como herramienta epistémica" pueda resultar algo grandilocuente, hemos querido poner de manifiesto en este trabajo, y a través del ejemplo presentado, algunos de los rasgos característicos del uso de las simulaciones computacionales en ciencia.

Por un lado, la simulación computacional presentada volvió plausible en el ámbito de la comunidad científica una hipótesis explicativa que no lo era. Sin embargo, esta afirmación debe entenderse con algún cuidado. Existen diversas hipótesis rivales para explicar el fenómeno de la extinción masiva de mamíferos en América. Las simulaciones realizadas no permiten decidir entre estas hipótesis alternativas. En particular, la simulación no vuelve a la caza humana una hipótesis causal más plausible que sus hipótesis rivales, tales como el cambio climático, alguna enfermedad, las condiciones de hábitat alteradas o la ruptura de la cadena alimenticia. No al menos hasta ahora.

Un segundo aspecto a partir del cual se puede entender la función de las simulaciones como herramientas epistémicas es a través de sus usos exploratorios. Como vimos, a partir del problema original de la extinción masiva de la megafauna en América del Norte, se propusieron distintas hipótesis con pretensiones explicativas. Diversas modelizaciones y simulaciones permitieron explorar aspectos de la hipótesis de la caza indiscriminada por parte de los humanos. Cada modelo y simulación puede ser considerado una exploración del espacio de posibilidades de la hipótesis original. Otro nivel de exploración aparece cuando consideramos los *diferentes* escenarios posibles generados en una simulación. Estos escenarios son construidos a partir de la selección, ponderación y variación de parámetros. La *generación* de diferentes escenarios y su posterior *comparación* permite evaluar de diferentes maneras las hipótesis en juego.

Un tercer aspecto del uso de las simulaciones computacionales como herramientas epistémicas aparece cuando consideramos las funciones de las expectativas. En el caso de la hipótesis de la caza masiva, las expectativas asociadas cambiaron sustancialmente luego de las primeras implementaciones de las simulaciones. Se pueden tomar en consideración no sólo las expectativas de cada hipótesis sino también las de cada simulación y escenario generado. Como cada escenario generado está vinculado con una particular selección, ponderación y variación de parámetros, hay una relación estrecha entre parámetros y expectativas. La importancia de estas expectativas reside en que permiten, de algún modo, distinguir entre

escenarios plausibles y no plausibles. Los usos exploratorios de las simulaciones ayudan a poner de manifiesto la función epistémica de los escenarios poco plausibles.

Un cuarto aspecto en donde la noción de herramienta epistémica puede verse es a través de la importancia que adquieren los "escenarios" generados por las simulaciones. Cuando en 1975 Martin implementa la primera simulación computacional que utilizaba la hipótesis de la caza masiva, se destaca que dicha implementación era una forma de hacer "viable" dicha hipótesis. Parece que esta "viabilidad" estaba relacionada con la posibilidad de mostrar más claramente los supuestos de la hipótesis y de hacer explícitas las relaciones y consecuencias de dichos supuestos.

La plausibilidad general de la hipótesis está relacionada con los "datos" con que se cuenta. La selección de parámetros, su ponderación y los valores asignados se realiza tomando en consideración los datos y la hipótesis explicativa. Pero la viabilidad de la que habla Martin no se reduce a este ámbito. Los datos y la hipótesis estaban disponibles antes de implementar la simulación. Los distintos escenarios generados son los que parecen tener gran parte de carga epistémica de la "viabilidad" en este caso. Estos escenarios suponen los datos, pero además involucran formas en las cuales se estructuran y relacionan *en un orden temporal particular*. La propuesta de que las simulaciones computacionales puedan ser entendidas como herramientas epistémicas supone al menos estos diferentes aspectos y niveles. El contexto de aplicación, tal como lo sugieren algunos filósofos, aparece como un ámbito privilegiado para este tipo de investigación. Además, aunque la noción de "escenario" nos ha resultado fructífera para el análisis presentado creemos que requiere de una mayor elucidación.

Es importante destacar que la simulación computacional presentada no permite establecer con confianza el aspecto causal de la hipótesis. Dicho de otro modo, la variación de parámetro mostró la robustez de la hipótesis frente a los datos conocidos, pero también muestra cómo la irrupción de la caza humana hace casi imposible la sobrevivencia de todas las especies de grandes mamíferos. Sin embargo, ello no alcanza para mostrar que la sobrecarga es la causa de la extinción. A pesar de esto, hay diferentes aspectos, algunos de los cuales hemos señalado en este trabajo, que permiten sugerir que en algunos casos las simulaciones computacionales pueden servir como herramientas epistémicas. Las formas particulares en las cuales esta "herramienta" se usa y aplica constituyen un campo interesante y todavía poco explorado.

---

## Notas

<sup>i</sup> En el sentido en que usa Humphreys la expresión se refiere más que al hecho de que sea ejecutado en una computadora, y al hecho de que este tipo de modelo privilegia el "cálculo" sobre la capacidad "representacional".

## Bibliografía

- ALROY, J. (2001). A multispecies overkill simulation of the end-Pleistocene megafaunal mass extinction. *Science*, 292 (5523), 1893.
- DINIZ-FILHO, J. A. F. (2004) Macroecology and the hierarchical expansion of evolutionary theory. *Global ecology and biogeography*, 13(1), 1-5.

- 
- FOSHA, M. (2006). Book Review of "Twilight of the Mammoths: Ice Age Extinctions and the Rewilding of America" by Paul S. Martin. Retrieved from <http://digitalcommons.unl.edu/greatplainsresearch/837/>
- GUALA, F. (2003). Experimental localism and external validity. *Philosophy of science*, 70(5), 1195–1205.
- HUMPHREYS, P. (2004). *Extending ourselves: computational science, empiricism, and scientific method*. New York: Oxford University Press.
- MARTIN, P. S. (1973). The discovery of America. *Science*, 179(4077), 969.
- MARTIN, P. S., & WRIGHT, H. E. (1967). *Pleistocene Extinctions: The Search for a Cause* (First ed.). Yale University Press
- MORGAN, M. (2005). Experiments versus models: New phenomena, inference and surprise. *Journal of Economic Methodology*, 12(2), 317–329.
- MORRISON, M. (2009). Models, measurement and computer simulation: the changing face of experimentation. *Philosophical Studies*, 143(1), 33–57.
- MOSIMANN, J. E., & MARTIN, P. S. (1975) Simulating Overkill by Paleoindians: Did man hunt the giant mammals of the New World to extinction? Mathematical models show that the hypothesis is feasible. *American Scientist*, 63(3), 304–313.
- PARKER, W. (2009). Does matter really matter? Computer simulations, experiments, and materiality *Synthese*, 169(3), 483–496.
- WINSBERG, E. (2009) A tale of two methods. *Synthese*, 169(3), 575–592.