

# 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



# Objetos semi-materiales y simulaciones computacionales

*Pio García y José Ahumada\**

## Introducción

Es común en publicaciones recientes, encontrar una discusión acerca del lugar epistemológico que tendrían las simulaciones computacionales. Una estrategia para dar cuenta de este problema es compararla con algunas nociones tradicionales en filosofía de la ciencia. Se discute si las simulaciones computacionales pueden ser subsumidas bajo alguna noción tradicional como la de modelo (o si por lo menos pueden ser entendidas como una clase de especial de modelo - por ejemplo dinámico-) o de representación. También se discute si es posible asimilarla a la noción de experimentación para, a partir de allí, ganar un estatus epistémico comparable. Como es de esperar cada una de estas discusiones arrastra la cuestión previa acerca de qué son o cómo pueden caracterizarse tanto los modelos como los experimentos.

Una de las formas en las cuales se intenta marcar la distinción entre experimento y simulación es a través de la noción de "materialidad". Para la mayoría de los filósofos, las simulaciones no son materiales y pueden ser consideradas como meras manipulaciones de modelos matemáticos. En palabras de Morgan, la materialidad del experimento hace que los mismos "repliquen" el fenómeno mientras que las simulaciones computacionales sólo pueden "representarlos"(2005:320). La mayor confiabilidad de los experimentos proviene de esta característica de los experimentos. En el presente trabajo vamos a cuestionar esta forma de realizar la distinción entre experimentos y simulaciones computacionales utilizando la noción propuesta por Morgan de objetos semi-materiales, pero con un significado diferente.

## Simulaciones como experimentos

Algunos filósofos han comparado a las simulaciones computacionales con el contexto experimental, en tanto en las simulaciones computacionales también hay manipulación o intervención. En términos de Hacking, no son sólo representaciones sino también intervenciones. Pero esta característica no asimila directamente las simulaciones a experimentos materiales, puesto que las primeras podrían ser simplemente experimentos matemáticos, intervenciones sobre modelos y no sobre algo material.

En este sentido, se ha intentado realizar una distinción entre experimentos y simulaciones computacionales apelando a la materialidad de los primeros. Más en concreto se ha propuesto que las inferencias que relacionan los resultados de un experimento con algún otro sistema están justificadas de una manera distinta – se supone que mejor- cuando el sistema experimental y dicho sistema están hechos de la misma materia. Así, Francesco Guala (2002) dice que entre una simulación computacional y un sistema "simulado" sólo hay una correspondencia formal.

De acuerdo con Guala - quien sigue a Simon- hay una diferencia ontológica entre simulaciones y experimentos. Entre los experimentos y el sistema referenciado (*target*) hay una correspondencia en un nivel "profundo" y "material" mientras que entre una simulación y lo simulado hay una similaridad abstracta y formal. De acuerdo con Guala esta diferencia se asienta

---

\* UNC

en que en el caso del experimento están operando “las mismas causas materiales”, que relacionan el experimento y el sistema “referenciado”. En cambio en el caso de la simulación la relación de correspondencia – o de similaridad o analogía- es puramente formal.(Guala 2005:214-215)

Como ya señalamos más arriba, Morgan (2005) dice que las simulaciones y los experimentos tienen distintos “poderes epistémicos”. Así, las inferencias acerca de sistemas experimentales pueden justificarse mejor cuando el experimento y el sistema al cual se refiere este contexto experimental (*target*) están hechos de la misma “materia” (*stuff*). Parker argumenta que la propuesta de Guala es demasiado restrictiva en su noción de experimentación, aun aceptando que Guala no quiere decir que todas las causas materiales sean relevantes en este caso sino sólo las más “próximas”. Pues, los científicos que hacen pruebas de nuevas drogas con ratas, están también experimentando, aunque resulte luego que los mecanismos de reacción en seres humanos sean diferentes. Además, la propuesta de Guala es también muy restrictiva en lo que se refiere a las simulaciones. Pues decir que “nunca” hay causas materiales comunes es demasiado fuerte. Parker propone aquí el caso de una simulación en un túnel de viento con un prototipo en escala real. Pero, este tipo de ejemplo parece salirse de la propuesta de Guala, puesto que la diferencia entre simulaciones y experimentos vale en el caso en el cual las primeras sean computacionales.

Sin embargo, Parker (2009) argumenta que mientras que las simulaciones computacionales como tales no califican como experimentos, los estudios científicos típicos que involucran el uso de computadoras sí lo hacen. Una simulación es un experimento porque el modelo de la simulación es ejecutado en un sistema físico como lo es la computadora digital. En cuanto a la relación entre un resultado experimental y un sistema al cual se quiera aplicar dichos resultados, Parker argumenta que es la noción de “similaridad relevante” la adecuada y no la de materialidad en sí misma. Las dos consecuencias que Parker saca de la propuesta de Guala parecen llevar a concluir que ningún estudio de simulación y experimento puede ser llevado adelante simultáneamente pues suponen relaciones excluyentes y antagónicas. El contra-ejemplo propuesto aquí es el de la simulación-experimentación con un modelo a escala - en este caso de la bahía de San Francisco-. Nuevamente el problema parece ser la distinción entre simulaciones analógicas y digitales. Parker caracteriza a una *simulación* como una secuencia de estados ordenados en el tiempo que sirve como representación de alguna otra secuencia de estados ordenados en el tiempo (caracterización que es similar al de Hartmann (1996) y Guala (2002:61-62). Esta representación no es independiente de una mente y por tanto se entiende en términos intencionales. Si bien cualquier cosa puede representar cualquier otra, no toda representación es igualmente adecuada. En la práctica los científicos eligen a un sistema para simular sobre la base de que se cree que es “similar” al sistema simulado, dados los objetivos del estudio. Por un *experimento* se entiende (o entendemos) una actividad investigativa que involucra intervenir en un sistema y observar cómo las propiedades de interés de dicho sistema cambian, si es que lo hacen, en virtud de la intervención. Ejemplos paradigmáticos de intervención incluyen tratamientos médicos, calentamiento de un volumen de líquido etc. Dicha intervención ocurre, habitualmente en condiciones de control.

Esta caracterización lleva a una diferencia fundamental entre *simulaciones* y *experimentos*: mientras una simulación es una representación - imitación de un proceso-, un experimento es una

actividad investigativa que supone intervención. En un experimento el sistema está "presente", no "representado". Pero lo que no se supone aquí, como parece seguirse de la caracterización de Guala, es que ambas deban ser "excluyentes": un experimento puede constituir una simulación de otro experimento.

¿Cómo se posicionan las simulaciones computacionales en este panorama?. Para Paker y Humphreys, una simulación computacional es una secuencia de estados "soportada" por una computadora digital, en la cual dicha secuencia representa otra secuencia de estados de otro sistema - real o imaginario-. De esta manera parece que las simulaciones computacionales califican como simulaciones pero no como experimentos. Pero las simulaciones computacionales pueden distinguirse de los estudios con simulaciones computacionales - *computer simulation studies*- (CSS). Los CSS consisten en una actividad amplia en la cual se "setean" los estados de la computadora digital, en la cual evolucionará la simulación, se "dispara" dicha evolución y se "observan" las distintas propiedades de la computadora. Así definida una CSS califica como un experimento.

### **El estatus material de las simulaciones**

Mary Morgan parece suscribir una visión de los CSS similar, sin embargo ella también está preocupada por los "grados de materialidad". El contraste es entre los experimentos "materiales" llevados adelante en un laboratorio y los CSS que son experimentos "no materiales".

Además, las ecuaciones programadas rara vez son idénticas a las ecuaciones del modelo matemático. Muchas veces el modelo matemático original es discretizado, manipulado y simplificado. Este paso - del modelo matemático a las ecuaciones programadas- requiere de justificación. El proceso de verificación suele ser el adecuado para esto. Sin embargo, muchas veces el resultado de una simulación es comparado directamente con el sistema físico representado - como es el caso de las simulaciones del clima-. Esto es visto por Parker como otro indicio de la relevancia del estatus material de las simulaciones. Muchas veces las discusiones acerca de las simulaciones computacionales parecen suponer que son sólo ejercicios sobre modelos matemáticos. Comúnmente los modelos matemáticos son tan "sistemas externos representados" como el sistema físico externo.

Morgan atribuye mayor poder epistémico a los experimentos tradicionales porque tienen la capacidad de "confundir" a los científicos, esto es por su poder de revelar fenómenos que no son sólo sorprendentes, sino inexplicables desde el punto de vista de la teoría existente. Un buen experimento computacional frecuentemente no tendrá el potencial de poner a prueba los presupuestos teóricos acerca del sistema representado porque ha sido diseñado para "entregar" resultados que sean consistentes con dichos presupuestos. Mientras que un experimento tradicionalmente ha sido diseñado para dejar que los "hechos" acerca del sistema experimental "hablen" por sí mismos.

Pero no es el caso que los experimentos computacionales no pueden entregar resultados que estén en contra de la teoría. Los procesos de discretización, simplificación y aproximación pueden dar cuenta de estas diferencias - entre la teoría y los resultados-. Además, dada la complejidad de las creencias involucradas en las teorías, una simulación puede darnos algún indicio de inconsistencias entre dichas creencias. Finalmente las simulaciones computacionales pueden ayudar a darse cuenta cuál conjunto de explicaciones en competencia pueden ser

posiblemente correctas. Pero estas características de los experimentos materiales también se encuentran en ciertos experimentos híbridos mediante simulaciones computacionales. La confusión también puede producirse en lo que Morgan denomina virtualmente un experimento, donde se cuenta con un modelo del objeto (virtual) muy similar al objeto real. Estas simulaciones son más experimentos sobre objetos que sobre modelos matemáticos. Como veremos más adelante, entender estas nuevas categorías implica entender la compleja relación entre modelos y materialidad en situaciones experimentales.

Morgan además dice que los experimentos tradicionales tienen mayor "potencia" para realizar inferencias acerca del mundo. Este mayor potencial se explicaría porque el sistema experimental y el sistema representado están hechos de la misma materia. Hay una ontología compartida que permite el salto inferencial, si falta esa ontología es más difícil y las inferencias son epistemológicamente más débiles. (Rom Harré (2003) sostiene algo similar. Pero el que dos sistemas pertenezcan al mismo supertipo ontológico no hace que un resultado particular esté justificado para ser aplicado al sistema representado. Lo que se necesita además, es que haya buenas razones para suponer que las propiedades que están bajo experimentación sean las relevantes, en relación con el sistema representado. Sin embargo, una afirmación similar se puede hacer en relación con los experimentos computacionales. El que sean similitudes "formales" no hace una diferencia crucial.

Pero Morgan hace referencia a la "facilidad" con la cual se puede realizar la justificación de las inferencias. Dos sistemas pueden compartir la misma "materia", pero puede que sea difícil establecer las similitudes relevantes. Es por esta razón, entre otras, que es problemático construir - y setear-un modelo físico de la atmósfera.

Pero, ¿qué quiere decir Morgan cuando dice que los experimentos tradicionales tienen mayor poder epistémico que los experimentos computacionales? Una posibilidad que ya presentamos más arriba es que la diferencia ontológica hace una diferencia epistémica, otra es que quizás los experimentos sirvan para tareas epistémicas que no pueden ser llevadas adelante por experimentos computacionales. Pero parece que uno podría decir lo mismo de las simulaciones computacionales, con lo cual no habría una preeminencia "absoluta". No habría un sentido "general" para compararlas.

Parker, si bien menciona los grados de materialidad de Morgan, no le otorga ningún rol importante en la comprensión de las simulaciones computacionales. El concepto de estudios de simulación dejaría a toda simulación que corre en una computadora digital como experimentos materiales sin posibilidad de comprender variantes como los experimentos virtuales y los virtualmente experimentos. En el intento de mostrar que el poder epistémico de los experimentos materiales no tiene asegurado ni exclusividad ni un lugar jerárquicamente superior, se pasan por alto nuevas metodologías que no pueden asimilarse ni a modelos matemáticos puros ni a experimentos materiales tradicionales. El trabajo de Morgan se destaca por haber mostrado que la materialidad en las simulaciones no está solo (como sostiene Parker) en la computadora física. El artículo de Morgan no es muy explícito sobre esto. Una primer respuesta como dijimos más arriba podría ser que los virtualmente experimentos serían semi-materiales o más materiales que los experimentos virtuales porque no solo sorprenden sino también confunden. La confusión a su vez, tiene que ver con como se modeliza el objeto en la simulación. Entendemos que esta

modelización no es diferente a la similaridad relevante planteada por Parker aunque puede tener algo más para generar confusión. La modelización que genera materialidad es aquella que es menos abstracta en relación al objeto o fenómeno. Por el contrario, en un experimento virtual, la representación inicial es muy abstracta en relación a lo simulado. En este sentido también podría decirse que las simulaciones semi-materiales son simulaciones analógicas, un término que curiosamente no es usado por Morgan en ninguno de los trabajos citados. Es notable que no muchos han mencionado a las simulaciones analógicas en el debate simulación/experimento. Una excepción es Winsberg (2009) quien analiza desde esta perspectiva la distinción entre simulaciones y experimentos. Veamos en qué medida incorporar esta distinción, hace un aporte al problema de la materialidad de las simulaciones computacionales o a categorías intermedias.

### **Winsberg: SimulacionesA, simulacionesR y simulaciones analógicas**

En el apartado anterior hemos visto que no es sencillo darle forma a la intuición de que la materialidad sea aquello que hace una diferencia epistemológica entre simulaciones computacionales y experimentos tradicionales. En particular, como ocurre en simulaciones climáticas donde estas tienen más poder epistémico que los experimentos reales. Winsberg (2009) pone en juego las simulaciones analógicas en un intento de comparar a las simulaciones y los experimentos. Desde esta perspectiva adoptada, algunos experimentos pueden ser al mismo tiempo simulaciones analógicas. La materialidad asumida como presente en todo experimento real, dejaría de ser una característica distintiva respecto a este tipo de simulaciones. A partir de estas consideraciones Winsberg distingue entre simulacionesA y simulacionesR. Una simulaciónR es la simulación como una clase de entidad representacional. Una simulaciónA es aquella en que una simulación se distingue metodológicamente de un experimento pero no ontológicamente. La simulaciónA, permite aceptar como simulaciones tanto la digital como la analógica y diferenciarlas a ambas de los experimentos ordinarios o reales.

Lo que distingue a simulaciones de experimentos es el carácter del argumento dado para la legitimación de la inferencia desde el objeto al target y el carácter del conocimiento de fondo que basa aquel argumento. En las simulaciones, en particular, son legitimados por una clase muy especial de argumento y conocimiento de fondo. En la simulación, el argumento de que el objeto puede ser usado para estar en lugar de la conducta del target puede ser fundamentado sobre la similaridad relevante o basada en ciertos aspectos de la construcción de modelos. (Winsberg 2009:586)

La estrategia de Winsberg es interesante, pero no es claro que haya un solo tipo de simulaciones analógicas. Una simulación puede ser material o digital. La distinción entre ambas, puede estar fuertemente vinculada a la materialidad y a las relaciones causales subyacentes. Una interesante argumentación en este sentido puede encontrarse en Thenholme (1994) *Analogue Simulation*.

En otras palabras, si aceptamos la propuesta de Winsberg, queda sin resolución la distinción entre simulaciones analógicas-materiales y digitales. Entendemos que solo volviendo a la materialidad podemos recuperar esta distinción. Pero ¿esto nos obliga a regresar nuevamente a la distinción clásica entre experimento y simulación? Creemos que sí, dado que podemos mantener la distinción en base al tipo de relaciones causales que mantienen las simulaciones materiales con los experimentos en contraposición a las computacionales<sup>1</sup>.

Nos quedarían entonces tres alternativas para introducir materialidad en las simulaciones computacionales. La primera es la sostenida por Parker, donde es la materialidad de las computadoras lo que hace a las mismas materiales y experimentos materiales. La segunda, sostiene que las simulaciones analógicas digitales son semimateriales y que esto le da un estatus intermedio. La tercera, sostenida en un reciente artículo por Morrison (Morrison 2008) que materializa las simulaciones modelizando algunos experimentos. Creemos que esta última alternativa puede usarse también para fundamentar la semimaterialidad de las simulaciones o que sería mejor defendida a partir de esa conceptualización.

### **La modelización de los experimentos en Morrison**

Para Morrison (2009), la materialidad tiene una dimensión ontológica irremplazable dado que le otorga a ciertos experimentos la capacidad diferenciante de determinar la existencia de fenómenos. No obstante estas ventajas, la materialidad no es suficiente para diferenciar simulación de experimento. Esto es así porque las características experimentales de los modelos pueden hacer experimental a la simulación. Para esto las simulaciones deben ser consideradas no solamente como cálculo sino también como instrumentos de medición.

La materialidad es, estrictamente hablando, lo que el experimentador puede representar en los modelos de simulación que están bajo investigación usando la computadora y el programa. Aunque como bien señala Morrison, lo que estrictamente se manipula en una simulación es el modelo, la materialidad se limita estrictamente a la representación del sistema material. A diferencia de Parker, la materialidad de las simulaciones no estaría en la computadora física sino en la simulación misma y lo que le otorga este estatus es que la relación sistema/modelo no es simplemente una peculiaridad de las simulaciones computacionales puesto que algunos experimentos también dependen de este tipo de relación. En otras palabras, en algunos experimentos, también necesitamos modelos en orden a extraer información significativa acerca del aparato y el sistema destino (*target*). Entendemos que esta modelización de los experimentos es también un buen argumento a favor de la semimaterialidad de las simulaciones. Mas que concebir este debate a partir de la polarización materialidad/modelo puede constituir una interesante alternativa pensar en términos de grados crecientes de materialidad. La distinción entre similaridad material y formal se ve de algún modo reconceptualizada en formas graduales de materialidad. Entendemos también, que estos argumentos pueden aplicarse a los grados de materialidad que propone Morgan. En principio esto parecería entrar en contradicción con la posibilidad de que las simulaciones puedan ser más confiables que los experimentos en algunos casos o circunstancias (ver en esta línea a Paker(2009), Frigg(2009), Winsberg(2009)). La distinción de Morrison entre existencia de fenómenos y predicción de experimentos y simulaciones diluye esta crítica. La ventaja epistémica de los experimentos aparece en casos en donde es insustituible a la hora de determinar la existencia de un fenómeno y explicaría por que se necesita construir aceleradores de partículas en lugar de usar simulaciones computacionales menos costosas. Esto obviamente, no invalida que posteriormente mediante simulación pueda determinarse mejor el comportamiento de este fenómeno. Los virtualmente experimentos implican procesos de modelización que como dice Morrison, se encuentran también en el dominio experimental material. Pero a diferencia de Morrison, creemos que es más adecuado denominar semimaterialidad a esta imbricación entre modelos y materialidad. Esto no implica

que tengamos que abandonar el concepto de materialidad como importante en la discusión experimento-simulación. Como dijimos más arriba, esta noción es necesaria cuando tenemos que distinguir entre simulaciones analógicas-materiales y digitales.

### Conclusión

El carácter experimental y material -o semimaterial -de las simulaciones está dado no solo porque son mediciones además de cálculos como sostiene Morrison sino porque implican la creación de objetos semimateriales que constituyen los "virtualmente experimentos". Entendemos además que a la materialidad de las simulaciones como mediciones es más adecuada calificarla como semimaterialidad que como materialidad. Intentamos brindar una nueva perspectiva de las simulaciones que a diferencia de la propuesta por Humphreys (Humphreys 2004) reivindica el concepto de representación analógica como uno de las particularidades metodológicas y epistémicas de las simulaciones. Desde el punto de vista de las prácticas, los científicos usan las simulaciones como experimentos no solo porque están ante la materialidad de la computadora física sino también por tratar con objetos semimateriales, objetos virtuales que representan visualmente y permiten manipular o intervenir en algunos contextos con ciertas ventajas sobre objetos materiales. Las representaciones visuales en las simulaciones deben tenerse también en cuenta cuando se afirma el carácter experimental y material/semi-material de las simulaciones.

---

### Nota

<sup>1</sup> El caso citado por Winsberg de una simulación de circuitos por una computadora es un argumento a favor de este modo de entender estas simulaciones. Hay una coincidencia entre las restricciones del circuito simulado y las restricciones causales de la computadora como objeto material.

### Bibliografía

- Frigg, Roman, and Julian Reiss. 2009. The philosophy of simulation. hot new issues or same old stew? *Synthese* 169, no. 3: 593-613. doi:10.1007/s11229-008-9438-z.
- Guala, Francesco. 2002. Models, Simulations, and Experiments, In *Model-Based Reasoning: Science, Technology*, 59-74. Magnani y Nancy Nersessian (eds.), Kluwer Academic Pres.
- . 2005. *The Methodology of Experimental Economics*. Cambridge University Press, August 1.
- Harré, Rom. 2003. The materiality of instruments in a metaphysics for experiments. In *The Philosophy of Scientific Experimentation*, 19-38. in H. Radder (ed.). Pittsburg: Pittsburg University Press.
- Hartmann, S. 1996. The World as a Process: Simulation in the Natural and Social Sciences. In *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View*, ed. R. Hegselmann, U. Muller, and K. Troitzsch, 77-100. Kluwer Academic.
- Humphreys, Paul. 2004. *Extending Ourselves: Computational Science, Empirism and Scientific Method*. Oxford.
- Morgan, Mary S. 2005. Experiments versus models: New phenomena, inference and surprise. *Journal of Economic Methodology* 12, no. 2: 317. doi:10.1080/13501780500086313.
- Morrison, Margaret. 2009. Models, measurement and computer simulation. the changing face of experimentation. *Philosophical Studies* 143, no. 1 (March 1): 33-57. doi:10.1007/s11098-008-9317-y
- Parker, Wendy. 2009. Does matter really matter? Computer simulations, experiments, and materiality. *Synthese* 169, no. 3. 483-496.
- Trenholme, Russell. 1994. Analog Simulation. *Philosophy of Science* 61. 115-131.
- Winsberg, Eric. 2009. A tale of two methods. *Synthese* 169, no. 3: 575-592. doi:10.1007/s11229-008-9437-0.