

# 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

# Grados de Materialidad y Simulaciones Computacionales

Juan M. Durán\*

## Introducción

No hay dudas que la práctica científica está ligada a la tecnología y esta, indirectamente, a discusiones filosóficas. Desde el telescopio de Galileo hasta el extremadamente complejo CERN, o desde el uso de astrolabios hasta las simulaciones computacionales, todos parecen haber pasado por las mismas etapas de escepticismo por parte de los filósofos: los resultados de este o de aquel instrumento, ¿son confiables? ¿debería tener presente las leyes que rigen el instrumento como ejerciendo algún tipo de presión epistémica en lo que observo o experimento? Preguntas de este tipo desconciertan a los filósofos.

En este trabajo no voy a abordar exactamente todas estas preguntas, sino más bien trabajaré sobre una más general y, si se quiere, anterior: las SC, ¿pueden considerarse ET?. Y sólo para estupor del lector adelanto que no voy a responder directamente a esta pregunta, por el contrario, voy a aproximarme a ella señalando los peligros que encierra seguir la argumentación de algunos filósofos. En pocas palabras, no voy a indicar si tal o cual argumento es suficiente para decidir el vínculo entre SC y ET, sino voy a señalar qué tipo de argumento *no* es suficiente para tomar esta decisión.

Para llevar a cabo este trabajo hago uso de los argumentos de Francesco Guala quién los presenta de manera radical y condensada, sintetizando argumentos que están presentes en diversas obras sobre la misma temática. En ese sentido, abordar su trabajo no es más que un justificativo para responder de manera más generalizada a discusiones que ya están instauradas en el ambiente.

El caso de Guala consiste en situar la discusión epistemológica en un plano ontológico. Su estrategia global es trazar diferencias ontológicas entre los ET y las SC a fin de decidir sobre el rol epistemológico que cumple una frente a la otra. La movida es inteligente y dispara muchas preguntas que iré abordando paulatinamente.

Este trabajo se divide en dos partes principales: en la primera discutiré las ideas del autor sobre *experimentación*, mostrando que éstas son lógicamente inconsistentes con su noción de *simulación* y de *conocimiento previo*<sup>1</sup>. La segunda parte está dedicada a discutir su noción de *simulación híbrida* donde mostraré que desde esta perspectiva quedan excluidos casos que legítimamente pueden considerarse simulaciones (y experimentos).

Finalmente un detalle metodológico: a lo largo del trabajo sólo tomaré postura en aquellos asuntos que podrían significar una dificultad para los argumentos de Guala. En ningún momento respondo a la pregunta sobre la relación SC/ET; pero tampoco es mi intención hacerlo aquí. Como dije al inicio, este trabajo sólo se acercará a responder a esta pregunta desde una vía negativa.

---

\* Universidad Nacional de Córdoba

## Experimentos

La concepción de *experimento* que maneja Guala es un tanto conflictiva, no tanto por lo que incluye sino por lo que excluye de ella. En lo que sigue voy a tratar de desarrollarla en detalle.

Para el autor, la particularidad del experimento es que la materialidad involucrada en el sistema<sup>2</sup> de estudio debe ser la *misma* que la del sistema estudiado (sistema real), y esto por razones muy simples: llevar a cabo un experimento de este modo garantiza la manipulación de las mismas causas<sup>3</sup> que hacen al fenómeno real. De este modo, materialidad y causalidad son complementarias y ambas permiten una verdadera y única manera de tratar un fenómeno. En particular, el truco parecería consistir en hacer uso del fenómeno para estudiar el fenómeno, a diferencia de las simulaciones, a las cuales entraré en breve, y donde sólo es manipulable un sistema representacional<sup>4</sup>, es decir, un modelo teórico.

En este sentido creo que Guala está parcialmente en lo cierto. Si un experimentador utiliza un haz de luz para entender las propiedades de la luz, está manipulando, por así decir, “la cosa misma”, el mismo objeto/fenómeno que quiere entender y, consiguientemente, todo lo que *hace* a ese fenómeno. Podríamos decir que todas las causas actuantes están presentes. Pero no siempre sucede de este modo y Guala es consciente que la práctica científica actual puede diferir un poco de la imagen presentada hasta aquí. De hecho él mismo presenta un ejemplo donde muestra cómo es posible llevar adelante un experimento sin que la misma materialidad medie entre éste y el fenómeno:

Un modelo material de la propagación de la luz, de acuerdo a la teoría de onda, puede ser construido con la ayuda de un tanque de agua. Desde un nivel de análisis general cualquier tipo de onda puede ser modelada como una perturbación en un medio determinado por dos fuerzas: la fuerza externa produciendo la perturbación, y la fuerza reaccionaria trabajando para restaurar el medio en reposo. Relaciones generales tales como la ley de Hooke o las ecuaciones de D’Alambert son válidas para todo tipo de onda. (...) Los términos que aparecen en la ecuación describiendo el sistema objetivo y el sistema modelo deben ser interpretados de manera diferente en ambos casos: las fuerzas son de naturaleza diferente, como es el caso de los medios en el cual las ondas se desplazan. La similitud entre el modelo teórico de ondas de luz y el modelo del tanque de agua se mantiene sólo a un nivel abstracto. Los dos sistemas han sido hechos de una “cosa” diferente: las ondas de agua no son ondas de luz. Es debido a esta similitud formal que el comportamiento de las ondas de luz pueden ser *simuladas* en un tanque de agua. Tanto las ondas de luz como las de agua obedecen la misma ley no-estructural, a pesar de estar hechas de una “cosa” diferente. Esto es así por diferentes razones en cada caso: diferentes procesos subyacentes producen comportamientos similares en un nivel abstracto de análisis<sup>5</sup>. [1, p. 66]

Este ejemplo muestra que no es la presencia de materialidad la que predomina la escena, sino justamente es la *ausencia* mediadora de una misma materialidad entre el fenómeno de la luz y el tanque de agua. Dado que el agua no es luz, y viceversa, no hay equivalencia material y, por lo tanto, no hay manipulación de las mismas causas actuantes. Inclusive el detalle de mencionar que ambas ondas no viajan en el mismo medio, luego de poner en claro las fuerzas presentes en todo el proceso, evidencia la necesidad de mantener la mayor diferencia posible con el fenómeno, y eso es agua para su molino.

Por el contrario, dado que el caso del tanque de agua comparte, en última instancia, la misma característica que un modelo teórico, esto es, ambos se vinculan con el fenómeno que quieren explicar sólo a un nivel puramente abstracto, deben pertenecer a una categoría diferente; esta categoría es la que Guala denomina "simulación". En particular aquí queda evidenciado por qué para el autor no hay diferencia sustancial entre simulaciones analógicas y digitales: ambas comparten una relación representacional, mediada por el modelo teórico, con el fenómeno real; en otras palabras, ambas son ontológicamente análogas<sup>6</sup>.

En efecto, si entramos en un terreno netamente digital, veremos que Guala concibe a este tipo de simulaciones como semejantes al caso del tanque de agua. Su ejemplo es el uso de STRATAGEM, un software utilizado por geólogos trabajando en estratigrafía que les permite comprender mejor la formación de las distintas capas rocosas. Guana anota:

Notar que algunas características de sistemas simulacionales como STRATAGEM son exactamente opuestos a los previstos desde la perspectiva epistémica<sup>7</sup>. Para que esas simulaciones sean satisfactorias, los geólogos deben tener mucha confianza en que la correspondencia (formal) entre las relaciones en el dispositivo de simulación y las relaciones en el [sistema] objeto se mantienen a un cierto nivel de aproximación. [1, p. 69]

Tanto en el primer caso de simulación, así como en el segundo, lo que importa es la "naturaleza" del mecanismo de aproximación: en el primer caso que se lleva adelante en un tanque de agua, se hace uso de elementos materiales, naturales, aunque la correspondencia con el fenómeno se logre, como ya he indicado, sólo a nivel formal. En el segundo caso, el caso de STRATAGEM, es más que evidente que la formalidad también se logra, pero esta vez de primera mano: la SC *consiste en un modelo abstracto*. Así pues, concluye Guala sobre la diferencia entre experimento y simulación, "el mapeo en una simulación es puramente formal, mientras que los experimentos<sup>8</sup> son materialmente análogos a sus sistemas objetivos" [1, p. 67].

Si, a su vez, recordamos que para Guala existe una diferencia de grados epistémicos entre experimentación-modelos-simulación<sup>9</sup>, no hay mucho más para agregar que la conclusión más obvia: las simulaciones en general, y las SC (digitales) en particular, son mecanismos defectuosos, dependientes de cierto conocimiento previo y que sólo deben aceptarse temporalmente, sólo en la medida en que no tengamos un acceso más "puro" al fenómeno.

Este extremismo de Guala sólo parecería estar justificado parcialmente. En lo que sigue quiero mostrar que hay algo mal con esta idea y para ello sería suficiente elegir un buen ejemplo que vaya a contramano de las definiciones presentadas hasta ahora. Pero desafortunadamente nunca podremos encontrar ningún ejemplo ya que las mismas definiciones de Guala excluyen esta posibilidad.

El truco consiste en ver la tríada "experimento, simulación, conocimiento previo". Tomemos un ejemplo: el efecto fotoeléctrico de Becquerel<sup>10</sup>. En este ejemplo se realiza lo que llamaré un experimento "no-puro"<sup>11</sup> ya que se trabaja sobre un par de metales de plata inmersos en una solución de ácido diluido que permiten manipular fenómenos fotoeléctricos; este ejemplo, en la concepción de Guala, es paradigmático sobre hacer uso de la cierta materialidad no constitutiva del fenómeno. Lo interesante de este caso es que mientras se realizaba el experimento no se tenía ninguna explicación consistente de los fenómenos que estaban emergiendo; la tarea de explicarlos fue, finalmente, de Einstein. Ahora bien, para Guala sólo un

experimento "puro" puede ser llevado a cabo genuinamente sin conocimiento previo. Consecuentemente, no es posible que un experimento "no-puro" puede generarse sin conocimiento previo simplemente porque, por definición, esto es una simulación.

La paradoja consiste en ver que el efecto fotoeléctrico de Becquerel queda fuera tanto de la noción de *experimentación*, ya que no manipula la misma materialidad que el fenómeno, como de la noción de *simulación* pues es posible llevarlo a cabo sin conocimiento previo. Esta paradoja sólo será posible romperla si relajamos las restricciones tanto para la noción de "experimento", como también para la noción de "simulación".

En este sentido, o bien Guala cuenta con una versión demasiado estrecha de lo que es un experimento o bien cuenta con una versión demasiado estrecha de lo que es una simulación. Creo que el problema se presenta en ambos frentes: por un lado, su versión de lo que es un experimento debería ser ampliada hasta incorporar aquellos casos donde el acceso al fenómeno se da mediante algún mecanismo representacional, como es un modelo teórico (i.e. caso tanque de agua)<sup>12</sup>; por el otro lado creo que es posible considerar que, bajo ciertas circunstancias, no habría dificultades en pensar a una simulación digital como un experimento genuino.

En lo que sigue discutiré un paso intermedio entre experimentar y simular (en este caso SC). Mostraré que sus ideas sobre lo que es una SC no son acordes a la práctica científica actual, retrocediendo aún más en el camino trazado por este autor.

### Simulaciones

Para Guala existe un tercer estado intermedio entre un experimento y una simulación: las simulaciones híbridas o los experimentos-simulaciones. La idea aquí consiste en reconocer que es posible la realización de experimentos mediante la utilización de simulaciones como dispositivos de ayuda para estos experimentos.

Es interesante señalar que Guala reconoce las ideas de Morgan [4] como concepciones sobre las simulaciones híbridas que se encuentran en un estado de desarrollo importante y como siendo relativamente influyentes en la literatura actual. A pesar de que él no va a desarrollarlas en profundidad, sino que va a presentar su propia versión, es evidente la injerencia que recibe de esta autora.

Brevemente, las ideas de Morgan se basan, al igual que las de Guala, en que el uso de computadoras en experimentación introduce una distinción ontológica necesaria. Así, Morgan divide el carácter de las SC en dos tipos de experimentos<sup>13</sup>: *Experimentos Virtuales* y *Virtualmente Experimentos*<sup>14</sup>. El primero se concibe como un experimento no-material donde se puede desenvolver cierto tipo de "mímica" con los objetos materiales; el segundo caso, en cambio, se trata de un experimento no-material de (o con) objetos semi-materiales [4, p. 217]. Aquí sólo me interesa señalar la significativa (y repetitiva) distinción entre modelos teóricos y pura materialidad que se instaure en la discusión sobre la dicotomía SC-ET. Morgan y Guala comparten esta visión. En esta sección me gustaría señalar que, aún aceptando estas reglas de juego, es posible mostrar que existen casos en los que quedan, nuevamente, en una especie de *limbo*.

La idea de híbrido que maneja Guala se concibe como procesos que combinan componentes puramente experimentales con componente puramente "simulacionales"<sup>15</sup>. En otras palabras, híbrido para Guala es una combinación entre ET y SC que se da en la totalidad del sistema

simulado pero independiente entre ellos. Un proceso experimental hace uso de componentes simulacionales, pero no se “mezcla” con la simulación. El ejemplo de Guala ayudará a clarificar esta idea:

En psicología experimental o en economía experimental se está interesado en diseñar experimentos que reproducen, en todos los aspectos ‘relevantes’, situaciones de decisión en el mundo real. Personas, por ejemplo, son invitadas a intercambiar mercancías en un escenario gobernado por algunas reglas de las instituciones del mundo real (...) sin embargo, en ocasiones los experimentadores necesitan hacer uso de dispositivos ‘artificiales’.” [1, p. 71]

Este ejemplo revela justamente lo que estoy señalando: el proceso de experimentación y el proceso de simulación son dos procesos independientes que “colaboran” entre sí en un proceso más global denominado (por Guala) experimentos-simulaciones (o también, simulación híbrida). Es fácil notar que es la misma idea que trabaja Morgan. Para ella el proceso híbrido se caracteriza por los “Virtualmente Experimentos” en donde cierta “materialidad” es transmitida a la simulación al hacerse uso de imágenes reales de fenómenos reales. Independientemente de lo que quiso decir con “transmitir materialidad”, su idea de fondo consiste en complejizar (tal vez sólo con mayor detalle) los datos iniciales de la simulación. En última instancia, un “Virtualmente Experimento” es simplemente una complejización de un experimento virtual; pero una vez superada esta instancia, una vez que comienza el proceso propiamente denominado simulación, sólo queda el “Experimento Virtual”. De aquí que para ambos autores no haya ninguna indicación de que un estado interno de la simulación no se encuentre, previamente, contenido en el modelo teórico. En última instancia lo que se está resolviendo aquí es volver a la vieja idea de “sistema cerrado”<sup>16</sup>.

Desde luego esta concepción no está errada, sino simplemente incompleta. No toda simulación está auto-contenida, girando sobre sí misma para, finalmente, mostrar un resultado. Existen fenómenos emergentes en una simulación, y esos fenómenos son legítimos dentro del marco del modelo orginial. Lo que quiero decir es que si nuestro modelo hace uso de supuestos, simplificaciones, idealizaciones y demás, no es posible esperar que una simulación revierta este alejamiento del fenómeno; si nuestra computadora es limitada, tampoco. Pero tampoco podemos esperar observar el núcleo del sol si no tenemos un haz de neutrinos, o experimentar con partículas W en protón-antiprotón si no construimos un gigantesco laboratorio. En definitiva, nuestro acceso al fenómeno está limitado por doquier, tanto en experimentación como en simulación. En este sentido no parecería un buen argumento pensar que las SC no son experimentos simplemente porque hacen uso de una estructura teórica. Tanto un ET como una SC parecerían compartir estas restricciones, queda como tarea entrar en mayor detalle y ver si, asumiendo este supuesto, es posible encontrar igualdades/diferencias entre SC y ET.

Volviendo a nuestra discusión original, debemos concluir que realizar la distinción ontológica que se sugiere es correcto hasta un cierto nivel, pero parecería irrelevante que esta distinción pueda ser utilizada para dibujar distinciones epistémicas. Si tomamos ejemplos en aerodinámica veremos que allí se hacen uso de SC de vuelo donde es el piloto el que debe interactuar con el sistema. Este tipo de simulación cumple con todos los requisitos exigidos por Guala excepto que es necesario la interacción permanente de un agente (el piloto) que produce

permanentemente un "input" al sistema. En este sentido existen una serie de decisiones que no son tomadas por el sistema, afectando la computabilidad y cerrando la posibilidad a que cualquier resultado de la simulación esté contenido en el modelo inicial. Ambos podrían considerarse tanto experimentos como simulaciones (ambos en el sentido inicial de Guala), pero ninguno puede considerarse independiente del otro. Y dada esta inter-dependencia, no es posible caracterizar este proceso como un dispositivo (ya sea relativo a las simulaciones o a los experimentos) complementario. Una SC/ET de este tipo no entra en ninguna de las caracterizaciones realizadas ni por Guala ni por Morgan.

Otro caso interesante es el de los Automatas Celulares. Justamente la maravilla de estas pequeñas piezas de software consiste en que, dado un mínimo conjunto de reglas, es posible generar gran complejidad que no estaba "contenida" previamente en las células ni en las reglas. Además los autómatas constituyen una genuina SC puesto que hacen un mínimo uso del "modelo", i.e., el conjunto de reglas del autómata. Complementariamente se está sugiriendo la idea de que una simulación se asocia más a un proceso que a una estructura<sup>17</sup>. El caso de los Automatas Celulares levanta la sospecha de que aun en un entorno completamente no-material como sería un entorno virtual donde se desarrollan los autómatas, es posible generar un fenómeno que no estaba incluido en nuestro conocimiento previo.

Recapitulando: el caso del agente que "interviene" el sistema sugiere que una SC no es un mero dispositivo anexo al experimento, sino puede constituirse *qua* experimento. El caso de los Automatas Celulares sugiere la idea de que una SC *no* requiere de conocimiento previo, tal y como originalmente sugirió Guala.

## Conclusión

Tal y como sospechaba al inicio, no sólo es necesario extender la concepción de "experimento", sino también la de "simulación" a fin minimizar el contraste con la práctica científica actual.

Un trabajo pendiente sería intentar conciliar estas dos ideas o, en todo caso, marcar más nítidamente las diferencias. De momento ha quedado claro que no he resuelto las dudas iniciales del autor; por el contrario, simplemente he mostrado, con mayor o menor éxito, que por los caminos que el autor sugiere no es posible avanzar sin toparse con obstáculos.

---

## Notas

<sup>1</sup> Por conocimiento previo Guala se refiere a "theory-loaded".

<sup>2</sup> No hago especial preferencia sobre la noción de "sistema". En el caso de los experimentos, sistema puede ser equivalente a "fenómeno real"; en el caso de las simulaciones, puede ser equivalente a "estructura formal".

<sup>3</sup> Su posición sobre causalidad es aceptar la postura de Wesley Salmon y tomarla como una propiedad substantiva de tipos específicos de sistemas. No estoy interesado en discutir esta si esta concepción es correcta o pertinente.

<sup>4</sup> Nótese cómo las diferencias no son sólo ontológicas, sino profundamente metodológicas.

<sup>5</sup> Todas las traducciones son mías. Énfasis en el original.

<sup>6</sup> Vale la pena recordar que Guala hace uso de las ideas de Herbert Simon [6] quién adscribe a la idea de que la diferencia entre ET y SC no tiene directa relación con la confianza puesta en la relación SC/ET y el sistema objeto, sino más bien con la naturaleza de cada uno [1, Cf. p. 67].

<sup>7</sup> Parte de su tesis consiste en desafiar la perspectiva epistémica acerca de la distinción SC/ET y reemplazarla por la perspectiva ontológica.

<sup>8</sup> No voy a replicar ejemplos de lo que llama "experimento" simplemente para no extenderme demasiado en sus ejemplos. Véase p. 69 y ss.

<sup>9</sup> Guala es bastante claro con respecto a esto desde el comienzo. “¿Por qué los científicos pasan de hablar de ‘experimento’ a ‘modelos’ y a ‘simulación’? Una posible respuesta es que la diferencia es puramente epistémica: ‘experimento’ y ‘teoría’ son los pilares sobre los cuales cualquier ciencia propiamente dicha debería descansar, los científicos marcan sus dudas epistémicas usando una terminología especial. Una teoría incompleta o “menos cierta” se convierte en un ‘modelo’; un experimento dudoso se convierte en una ‘simulación’” [1, p. 59]

<sup>10</sup> Véase [2, 158]

<sup>11</sup> Esto es, un experimento que haga uso de una cierta materialidad que explique un fenómeno dependiente de *otra* materialidad. Dado que es más que evidente que no comparto las definiciones de Guala, me tomo la libertad de denominar a este caso un “experimento”.

<sup>12</sup> Dejo deslizar la sospecha de que realmente existe un acceso puro al fenómeno, tal y como Guala sugiere.

<sup>13</sup> Esta idea de “experimento” no es la que discute Guala.

<sup>14</sup> Esto es una transliteración de los conceptos “Virtual Experiments” y “Virtually Experiments”. No creo que haya un concepto en castellano apropiado para Virtually Experiments.

<sup>15</sup> Pido disculpas por este neologismo, pero a veces es difícil la transliteración de términos ingleses al español.

<sup>16</sup> La idea de “sistema cerrado” debe ser entendida como una estructura axiomática-deductiva donde un proceso de *verificación o prueba* es aplicable. Esta idea es desarrollada por Oreskes et al [5]

<sup>17</sup> Este giro en la concepción de SC es acorde a lo postulado por Hartman [3] y, aunque parezca paradójico, también con las ideas de Guala [1, Cf. p. 60].

## Bibliografía

[1] F. Guala. Models, simulations, and experiments. In L. Magnani and N. J. Nersessian, editors, *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values*, pages 59–74. Kluwer, 2002.

[2] I. Hacking. Representing and intervening : introductory topics in the philosophy of natural science. Cambridge University Press, 1983.

[3] S. Hartmann. The world as a process. Simulation in the natural and social sciences. In R. H. et al., editor, *Simulation and Modelling in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View*, pages 77–100. Kluwer, 1996.

[4] M. Morgan. Experiments without material intervention. In H. Radder, editor, *The philosophy of scientific experimentation*. University of Pittsburgh Press, 2003.

[5] N. Oreskes, K. Shrader-Frechette, and K. Belitz. Verification, validation, and confirmation of numerical models in the earth sciences. *Science*, 263:641–646, 1994.

[6] H. A. Simon. *The Sciences of the Artificial*. MIT Press, 1996.