

Experimentos virtuales y *virtualmente* experimentos: Algunas consideraciones epistemológicas

Virtual experiments and *virtually* experiments:
Some epistemological considerations

Amparo Gómez Rodríguez

Universidad de La Laguna (España)
E-mail: agomez@ull.es

Resumen: En este artículo se analizan algunas cuestiones epistemológicas planteadas por los experimentos virtuales —con objetos idealizados y con objetos semi-materiales—. El objetivo es establecer qué tipo de conocimiento de los sistemas reales supone este tipo de experimentos, y si existen diferencias epistémicas esenciales entre la investigación de laboratorio y la virtual. Se abordan fundamentalmente los problemas epistémicos asociados a la relación entre experimentos y teorías, lo que lleva al análisis del estatus de los datos y los fenómenos implicados en estos experimentos.

Palabras clave: experimento virtual, *virtualmente* experimentos, sistema material, experimentalismo, realismo.

Abstract: Some epistemological questions posed by virtual experiments — with idealized and with semi-material objects — are analyzed in this article. The objective is to establish what type of knowledge of real systems involves this sort of experiments, and if there are essential epistemic differences between laboratory and virtual research. The epistemic problems associated with the relationship between experiments and theories are analyzed, which leads to the analysis of the status of the data and the phenomena involved in these experiments.

Keywords: virtual experiment, *virtually* experiments, material system, experimentalism, realism.

Reconocimientos: Este artículo ha sido posible gracias al apoyo del Proyecto de Investigación (FEDER) FFI2015-64529-P del Ministerio de Economía y Competitividad. Agradezco a Michela Massimi sus comentarios y sugerencias a las primeras versiones de este documento

Las simulaciones o experimentos computacionales constituyen una forma de obtener información científica acerca de fenómenos que por distintas razones presentan dificultades a la experimentación y observación material. Este tipo de experimentos, que podemos denominar “virtuales”, se ha convertido en un recurso fundamental de la investigación en diferentes áreas de las ciencias sociales, las ciencias cognitivas, la biología, pero también de la física o las ingenierías¹. Los experimentos virtuales plantean

interesantes cuestiones epistemológicas, como las relacionadas con la materialidad, la simplicidad, el estatus de los datos y de los fenómenos, las diferencias

que distingue a esta nueva empresa?”, en KELLER, E. F., “Models, Simulation, and ‘Computer Experiments’”. En RADDY, H. (ed), *The Philosophy of Scientific Experimentation*, University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, 2003, p. 200. También el trabajo de Peschel y Scheutz sobre el rol de la simulación en el desarrollo de las teorías cognitivas, en PESCHEL, M. F. y SCHEUTZ, M., “Explicating the Epistemological Rol of Simulation in the Development of Theories of Cognition”. En KORTA, K. y LARRAZABAL, J. M. (eds), *Truth, Rationality, Cognition and Music: Proceedings of 7th International Colloquium of Cognitive Science*, Kluwer, Dordrecht 2004, pp. 274-281.

1. Véanse las consideraciones de Keller sobre la física computacional y su respuesta a la pregunta “¿qué es exactamente lo

entre derivar y producir resultados, o entre modelos y simulaciones.

Algunas de estas cuestiones serán tratadas en este artículo, que se centrará en dos cuestiones fundamentales: a) en qué medida los experimentos virtuales aumentan el conocimiento de los sistemas materiales (reales), y b) hasta qué punto los resultados obtenidos en estos experimentos son trasladables a los correspondientes sistemas materiales. La respuesta a estas cuestiones nos ayudará a establecer qué tipo de conocimiento científico proporcionan las simulaciones y si existen diferencias epistémicas esenciales entre la investigación de laboratorio y la virtual².

1. Instrumentos y procedimientos

La experimentación y observación científica, sea material o virtual, implica elementos activos y constructivos: diseño, preparación, instrumentos, técnicas, procedimientos, manipulación y control. Por lo tanto, en la base de la ciencia no encontramos observaciones simples, sino más bien observaciones mediadas técnicamente³.

La naturaleza convencional de los instrumentos, las operaciones y los procedimientos ha sido generalmente subrayada. El hecho de que sean convencionales significa que dichos procedimientos, operaciones o instrumentos son factibles (en una etapa específica del desarrollo científico), implican decisiones y acuerdos de las comunidades científicas que los aceptan como válidos. Estos acuerdos son básicos en ciencia, como ocurre en el caso de los acuerdos respecto a las técnicas de computación, las operaciones que supone la simulación, o las constricciones y controles. Pero, a pesar de esta dimensión convencional, los científicos consideran los datos obtenidos con recursos convencionales como válidos. Instrumentos, operaciones y procedimientos son convencionales, pero lo que se puede hacer con ellos y los resultados obtenidos, no. Yo mido 1.60 m. de alta; esto es un hecho, una vez que hemos aceptado como unidad de medida el metro. Cualquier sujeto que repita exactamente la operación obtendrá el mismo resultado, si dicha operación se ejecuta correctamente. Como afirma Agazzi, "lo que se observa utilizando ciertos instrumentos, aplicando las reglas de uso correctas, es lo que la comunidad científica acepta sin objeciones y es lo que todos pueden verificar repitiendo el mismo experimento"⁴.

2. El término *material* se usa para referir a experimentos de laboratorio en los que los inputs, la intervención y los productos son materiales.

3. Tal como muestra, entre otros, Ferreirós, en FERREIRÓS, J., "Hacia una filosofía de la experimentación", *Crítica. Revista Hispanoamericana de Filosofía* 34, nº 102, 2002, pp. 47-86.

4. AGAZZI, E., "Il significato dell'oggettività nel discorso scientifico". En MINAZZI, F. (ed), *L'oggettività della conoscenza scientifica*, Ed. Franco Angeli, Milán, 1996, p. 31.

Los datos obtenidos permiten formular proposiciones básicas sobre los fenómenos, es decir, proposiciones fenoménicas. Estas proposiciones son aceptadas precisamente porque se establecen a través de procedimientos operativos acordados y aceptados por los científicos. Si estamos de acuerdo en investigar usando la báscula, el cronómetro y una regla rígida podremos establecer proposiciones que contengan predicados como "masa", "duración" y "longitud" según los procedimientos estándar de medición. A partir de ello podremos establecer toda una serie de afirmaciones básicas de la mecánica clásica, y luego, por ejemplo, introducir el análisis infinitesimal y otros conceptos que irán construyendo el edificio teórico de la mecánica⁵.

En el caso de los experimentos virtuales es posible encontrar un número cada vez mayor de acuerdos entre los científicos con respecto a los procedimientos involucrados en el modelado, las operaciones matemáticas, las técnicas computacionales o las restricciones y controles. También se está realizando un esfuerzo importante para acordar qué similitudes y diferencias se pueden establecer entre los experimentos materiales en el laboratorio y los experimentos computacionales. Una cuestión clave en este marco es el acuerdo en torno a la distinción que establece Morgan entre experimentos computacionales basados en representaciones del objeto material altamente idealizadas —lo que ella designa "como un experimento virtual" — y experimentos con representaciones computerizadas muy realistas del objeto material, que Morgan denomina "experimentos con objetos semi-materiales"⁶. Morgan da como ejemplo de este segundo tipo, el experimento con una representación de una sección de hueso de la cadera de un animal de cuya estructura se obtienen imágenes computerizadas muy precisas, con "un alto grado de verosimilitud de estructura" llevándose a cabo una simulación de lo que

5. Como señala Agazzi, en AGAZZI, E., "Problemi di epistemologia contemporanea", *Quaderni Della Società Filosofica Italiana*, n. 1-2, 1979, pp. 5-61.

6. MORGAN, M. S., "Experiments without Intervention: Model Experiments, Virtual Experiments and Virtually Experiments". En RADDER, H. (ed), *The Philosophy of Scientific Experimentation*, University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, 2003, p. 223. Morgan afirma: "his team converts a real cow hipbone into a computerized image... making a photographic digital image of the slice. This digital image of the slices is reassembled in the computer to provide a high-quality 3-D image of that particular real hipbone (...) the computer experiment calculates the effect of the 'force' on individual elements in the grid and assembles the individual effects into an overall measure of the strength due to structure"; véase MORGAN, M. S., "Experiments without Intervention: Model Experiments, Virtual Experiments and Virtually Experiments", p. 222.

pasa cuando se le somete a fuerzas extremas⁷. Esta clase de experimentos son considerados por Morgan, *virtualmente experimentos*, es decir, *prácticamente experimentos materiales*.

En ambos tipos de experimentos se utilizan recursos informáticos: hay un modelo del objeto, un modelo de intervención y los recursos mecánicos de manipulación son reemplazados por otros matemáticos. A pesar de estos paralelismos, en el primer caso el experimento es más parecido a la manipulación en modelos matemáticos, mientras que el segundo se aproxima bastante a los experimentos materiales. En palabras de Morgan, “a pesar del papel de las matemáticas en la intervención (...) quiero describir al menos la primera de estas dos intervenciones (virtualmente experimentos) como cercana a un experimento regular”⁸.

Las diferencias entre *experimento virtual* y *virtualmente un experimento* afectan al estatus de los resultados obtenidos. No es posible extender los resultados del primer tipo de experimentos a los sistemas materiales, pero sí en el caso de los segundos, aunque sea aproximadamente. Pero esta aproximación no es muy diferente a la que se da en los experimentos de laboratorio, que también implican idealización y abstracción, y cuyos resultados son aproximativos respecto a los fenómenos naturales o sistemas materiales. Hacking ha señalado que los experimentos incluyen trabajar sobre imágenes y representaciones precisas, y afirma: “Estudiamos fotografías tomadas con microscopio (...) Cualquier imagen puede digitalizarse y retransmitirse en una pantalla (...) Supongamos que tomo un pincel electrónico y pinto, en una pantalla de televisión, una imagen precisa (a) de una célula que tengo previamente estudiada, digamos usando una imagen digitalizada y reconstituida”⁹. Es decir, los experimentos con objetos semi-materiales pueden ser considerados un recurso más de la investigación en el laboratorio.

Un ejemplo de experimento con objetos altamente idealizados es la simulación del comportamiento de diversas especies animales,

incluidos los humanos. La simulación se lleva a cabo con criaturas altamente esquematizadas que reaccionan de acuerdo con un conjunto de reglas definidas a priori. Los resultados de la simulación ya están incorporados en el modelo que construimos y se revelan a través de la simulación. La situación es más cercana a la que se da en la manipulación de modelos formales o matemáticos que a los experimentos de laboratorio: los investigadores intervienen derivando más que produciendo resultados. Morgan afirma al respecto que “este contraste entre derivar o producir resultados es la diferencia entre la demostración matemática y la demostración experimental”¹⁰. Por otro lado, en los experimentos semi-materiales, la simulación a veces produce resultados que pueden sorprender al investigador (pero no confundirlo).

Los experimentos con objetos semi-materiales comparten con los experimentos de laboratorio el control de las circunstancias y de las variables. Los investigadores se esfuerzan por tener en cuenta todas las condiciones y factores que interfieren o pueden interferir en el proceso. Las causas perturbadoras están controladas, unas porque están ausentes del experimento, otras porque son controladas por procedimientos que las mantienen constantes y, otras, porque son consideradas menores y sus efectos no son tenidos en cuenta. Pero lo relevante es que las causas perturbadoras son identificadas, se las conoce, se las puede explicar y sus efectos pueden ser calculados, igual que en los experimentos de laboratorio. Esto permite extender los resultados de este tipo de experimentos al objeto material.

En el caso de la economía o de otras ciencias sociales la situación es muy distinta. Primero, las representaciones de los objetos materiales son muy idealizadas, segundo, se carece de conocimiento acerca de las causas perturbadoras y, por tanto, de control sobre las mismas. La cláusulas *ceteris paribus* se limitan a afirmar la constancia de todos los factores que, sin embargo, sí que intervienen en los sistemas materiales¹¹. En general, la situación es más parecida a la manipulación en modelos matemáticos que a los *virtualmente experimentos*¹².

2. Experimentos versus teoría

Los experimentos virtuales dependen estrechamente de la computación y las herramientas que involucran, por ejemplo lenguaje formal.

7. MORGAN, M. S., “Model Experiments and Models in Experiments”. En MAGNANI, L. y NERSESSIAN N. J. (eds), *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values*, Kluwer /Plenum, New York, 2002, p. 12.

8. MORGAN, M. S., “Experiments without Intervention: Model Experiments, Virtual Experiments and Virtually Experiments”, p. 223. La diferencia esencial radica en el proceso de crear una imagen tridimensional de la estructura ósea en la computadora, según Morgan “the model was constructed anew by the scientist first visualizing the bone structure”; véase MORGAN, M. S., “Experiments Without Intervention: Model Experiments, Virtual Experiments and Virtually Experiments”, p. 223.

9. HACKING, I., *Representing and Intervening. Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, Cambridge University Press, Cambridge, 1983, pp. 206-207.

10. MORGAN, M. S., “Experiments without Intervention: Model Experiments, Virtual Experiments and Virtually Experiments”, p. 220.

11. Para este tema véase GÓMEZ, A., *Filosofía y metodología de las ciencias sociales*, Alianza Editorial, Madrid, 2003, pp. 69-80.

12. Como señala Morgan en MORGAN, M. S., “Model Experiments and Models in Experiments”, pp. 317-329.

Estos son instrumentos fundamentales que a su vez implican teoría (de los instrumentos). Esto, sin embargo, es algo diferente de lo que sostienen las perspectivas teoristas de la filosofía de la ciencia post-empirista sobre relación teoría-observación. Para estas perspectivas, la relación clave es entre teorías específicas y observación, y supone que la observación está determinada por la teoría¹³.

Por supuesto, las teorías desempeñan cierto papel en la investigación pero no, necesariamente, el especificado por los enfoques teoristas y relativistas —como ha mostrado el nuevo realismo y empirismo y, desde luego, el experimentalismo¹⁴. Primero, la investigación científica no siempre procede en términos de problemas y cuestiones formuladas en el seno de las teorías. Muchos experimentos y observaciones se han desarrollado, no para probar una teoría específica o una hipótesis, sino para establecer nuevos datos, resolver problemas prácticos, completar modelos de ciertos fenómenos, introducir nuevos conceptos —o ajustar los existentes—, o aumentar nuestro conocimiento sobre el comportamiento de los objetos —el ejemplo del experimento con la estructura ósea de la cadera cae en esta última categoría¹⁵. Como señala Hacking, a partir del análisis de diversos experimentos, aunque en algunos casos la teoría precede al experimento, en otros el experimento precede a la teoría, es falso que el experimento sólo se desarrolle para probar hipótesis¹⁶. Segundo, aun

cuando la investigación implique teorías, hay una mayor independencia entre la teoría y lo que se observa en una investigación que la afirmada por la filosofía post-empirista a través de la famosa tesis de la carga teórica de la observación. Existe un mundo independiente de nuestros sentidos y teorías que produce las regularidades de nuestra experiencia; a él accedemos activamente a través de la experimentación y la observación. Una vez que se han establecido los procedimientos e instrumentos técnicos a través de los cuales accedemos a la realidad (y esto es algo convencional), el comportamiento de la realidad no es arbitrario y, por lo tanto, tampoco lo son los resultados.

¿Podría este enfoque epistémico aplicarse a simulaciones o experimentos virtuales? ¿Los resultados logrados expresarían la respuesta de la realidad en este caso? Obviamente expresarían la respuesta de la realidad computerizada, sin embargo, ¿expresarían la respuesta de la realidad material? Estrictamente hablando, no, pero también es posible una interpretación menos restrictiva. En el caso de experimentos con objetos semi-materiales de los que habla Morgan, los datos obtenidos expresan, en un sentido científicamente relevante, la respuesta que tendría el objeto material si, en el laboratorio, estuviera sujeto a las condiciones de la simulación. Y si esta información puede trasladarse al sistema material de manera científicamente relevante se puede aceptar que expresa la respuesta que daría el sistema real. Es posible hacer una inferencia válida de los resultados encontrados en el objeto semi-material de la simulación, al objeto material. De hecho, esto es lo que hacen los científicos, ya que su objetivo es obtener información relevante sobre el objeto material, aunque dicha información se obtenga a través de experimentos computacionales. En otras palabras, el objetivo de los experimentos con objetos semi-materiales es obtener resultados que puedan aplicarse al objeto material. Morgan afirma sobre esta cuestión: “Confíe en un hueso de cadera particular para producir un objeto modelo que mantuviera (sugiero) suficientemente las cualidades materiales necesarias para establecer resultados experimentales válidos sobre ese hueso real”¹⁷. Por tanto, en la manipulación virtual el objeto no se comporta arbitrariamente, arrojando cualquier tipo de datos, se comporta como lo haría un hueso de cadera en esas condiciones, que arrojaría ese tipo de datos. Los resultados obtenidos

13. La perspectiva del constructivismo social de la ciencia radicaliza esta tesis. Para una interesante crítica de esta perspectiva, véase GONZALEZ, W. J., “The Philosophical Approach to Science, Technology and Society”. En GONZALEZ, W. J. (ed), *Science, Technology and Society: A Philosophical Perspective*, Netbiblo, A Coruña, 2005, pp. 21-24.

14. Con autores como Longino, Psillos, Kitcher, Cordero, Hacking o Bogen y Woodward; véase LONGINO, H., *Science as Social Knowledge*, Princeton University Press, Princeton, 1990; PSILLOS, S., *Scientific Realism*, Routledge, Londres, 1999; KITCHER, PH., *The Advancement of Science*. Oxford University Press, Oxford, 1993; CORDERO, A., “Scientific Realism and the Divide et Impera Strategy: The Ether Saga Revisited”, *Philosophy of Science*, v. 78 (2011), pp. 1120-1130; HACKING, I., *Representing and Intervening. Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, Cambridge University Press, Cambridge, 1983; BOGEN, J., WOODWARD, J., “Saving the Phenomena”, *Philosophical Review*, v. 97, (1988), pp. 303-352.

15. Morgan afirma al respecto, “the conventional belief from outside the experimental community is that the function of experiments in economics is for testing theories. This seems to be understood in the rather strong sense that experiments are conducted to confirm or deny some well specified economic theory. Of course, some experiments are indeed the place where theories can be tested, but to restrict the legitimate role of experiments to just this one function seems unnecessarily limited”, en MORGAN, M. S., “Experiments versus Models: New Phenomena, Inference and Surprise”, p. 317.

16. Véase HACKING, I., *Representing and Intervening. Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, p. 154.

17. MORGAN, M. S., “Experiments without Intervention: Model Experiments, Virtual Experiments and Virtually Experiments”, p. 230. Como M. Prausnitz y Bruce E. Poling escribieron: “since 1958 such computer experiments have added more to the knowledge of molecular structure of simple liquids than all the theoretical work of the previous century (...)”. Citado por Keller en KELLER, E. F., “Models, Simulation, and ‘Computer Experiments’”, p. 208.

a través de las manipulaciones experimentales semi-materiales nos informan de la realidad y su comportamiento. Si este tipo de simulaciones no proporcionara información del objeto material y su comportamiento con algún grado de aproximación relevante, no tendría utilidad científica.

Otra forma de abordar el tema es entender este tipo de experimentos como una de las clases de instrumentos, de los que habla Hacking, cuando subraya que, dado que la misma estructura se puede observar utilizando diferentes instrumentos, basados en diversos principios que involucran diferentes teorías físicas, existen buenas razones para aceptar que las estructuras observadas existen. Y, como él afirma, “estamos convencidos porque instrumentos que utilizan principios físicos completamente diferentes nos llevan a observar prácticamente la misma estructura en el mismo espécimen”¹⁸.

En el caso de experimentos computacionales, el enfoque de Hacking plantea algunos problemas, ya que lo que se observa son las interacciones con una representación computerizada de la estructura. Sin embargo, tenemos buenas razones para aceptar que las propiedades observadas a través de la manipulación simulada son aproximadamente reales en aquellos casos en los que: a) tenemos una representación realista del objeto material, b) los resultados obtenidos a través de la simulación pueden extenderse al sistema material, y c) estos resultados son consistentes con los datos proporcionados por otros experimentos materiales diferentes. Es cierto que en una simulación no estamos interfiriendo físicamente con las estructuras en el sentido propuesto por Hacking, pero la interferencia simulada se basa tanto en el conocimiento científico como en el conocimiento de cómo interferir científicamente. Esto nos permite, en el caso de experimentos virtuales con objetos semi-materiales, suponer que la interferencia en un laboratorio con fuerzas reales tendría los mismos resultados que la interferencia simulada; por lo tanto, podemos “estar convencidos de las estructuras que parecemos ver (...)” (Ibídem). Por otro lado, la noción de “manipulación” de Hacking se puede entender de una manera débil como “emplear”¹⁹. En el experimento del hueso de cadera tendríamos una manipulación débil, ya que se “emplean” inputs computerizados para simular qué pasa con la estructura del hueso.

En este caso la estructura manipulada en el ordenador no es independiente del instrumento. Pero

18. HACKING, I. *Representing and Intervening. Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, p. 209.

19. Para este tema ver SHAPER, D., “Astronomy and Anti-Realism”, *Philosophy of Science*, v. 60, (1993), pp.134-150; y MASSIMI, M., “Non-defensible Middle Ground for Experimental Realism: Why we are Justified to Believe in Colored Quarks”, *Philosophy of Science*, v. 71, n. 1, (2004), pp. 36-60.

esto no es un problema en aquellos casos en los que: a) tenemos suficiente conocimiento científico de la estructura material para desarrollar una representación realista de la misma (el objeto sí que es independiente del ordenador); b) los resultados de la manipulación simulada se pueden extender a la estructura material; y c) es posible acceder a la estructura material también a través de experimentos de laboratorio en los que se determinan datos e infieren propiedades. Por otro lado, es necesario recordar que también en el caso de algunos experimentos de laboratorio no es fácil separar lo que se observa del instrumento utilizado para observarlo. Pero esto no significa poner en duda lo observado ni la existencia de tales entidades del mundo.

Si las tres condiciones señaladas no se satisfacen, las razones para aceptar que las propiedades observadas a través de la manipulación simulada son aproximadamente reales, son más débiles (no importa cuántos parámetros introduzcamos en la computadora). Este es el caso de la simulación de la evolución de nuestra galaxia que se basa en información recopilada durante 15 años de estrellas espectrales F y G, con un total de alrededor de 63.000 observaciones espectroscópicas individuales. Este completo censo de estrellas cercanas proporciona información sobre distancias, edades, velocidad espacial y órbitas en la rotación general de la Vía Láctea, y la identificación de estrellas dobles o múltiples (alrededor de 1/3). Un astrónomo danés, Erik Heyn Olsen, dio el primer paso durante la década de 1980 al medir la intensidad de la luz en varias longitudes de onda de 30,000 estrellas de los tipos A, F y G, distribuidas por todo el firmamento. Luego, el satélite Hipparcos (ESA) determinó las distancias y velocidades en el plano celestial de estas y muchas otras estrellas. Sin embargo, los movimientos a lo largo de la línea de visión siguieron siendo el eslabón perdido, aunque esto también fue calculado finalmente por el instrumento CORAVEL, sobre la base del efecto Doppler de las líneas espectrales de las estrellas²⁰.

Toda esta información permitió a los astrónomos simular en sus ordenadores el movimiento de las estrellas de la galaxia en el pasado, y cómo lo harán en el futuro. Los resultados iniciales de la simulación indican que objetos como nubes moleculares, brazos espirales y agujeros negros habrían fomentado el desplazamiento estelar a lo largo de toda la historia del disco galáctico. Como resultado, la evolución de la Vía Láctea parece mucho más compleja y caótica que la propuesta inicialmente por modelos tradicionales y simplificados.

20. Resumen aquí el informe: <http://www.eso.org/public/news/eso0411/>.

En este caso estamos ante la computerización de una gran cantidad de datos científicos obtenidos por medios diversos e independientes del ordenador en el cual se les computeriza. Sin embargo, la situación no es la misma que en la simulación con el hueso de cadera sometido a fuerzas extremas. En primer lugar, porque se carece de experimentos de laboratorio sobre la evolución de nuestra galaxia, mientras que en el caso de la estructura del hueso de cadera se hicieron, aunque para otros parámetros. En segundo lugar, porque los resultados obtenidos de la simulación solo pueden extenderse al sistema material de forma bastante parcial, ya que el estado del conocimiento en este campo no permite el control de todas las variables y causas perturbadoras que actúan sobre un fenómeno tan complejo como la evolución de la galaxia. Y, en tercer lugar, y muy importante, porque del sistema material solo tenemos otros modelos sobre cómo evolucionó nuestra galaxia, por tanto, cuando se trasladan los resultados obtenidos, se trasladan a otros modelos. El estado del conocimiento acerca de los sistemas materiales es relativo a los grandes modelos teóricos. La simulación llevada a cabo estaba guiada por estos modelos, ya que los inputs matemáticamente modelados se comportan de acuerdo con ciertas hipótesis teóricas propias de dichos modelos. La afirmación de que objetos como nubes moleculares, brazos espirales y agujeros negros han fomentado el desplazamiento estelar a lo largo de la historia de la galaxia es una hipótesis por demostrar.

Para comprender los argumentos anteriores sobre el diferente estado epistémico de la simulación de la evolución de la galaxia y la de la estructura del hueso de cadera, es útil aclarar la relación entre experimento —simulado o no—, y teoría, lo que nos lleva a considerar en términos generales la relación entre datos, fenómenos y teorías.

3. Datos, fenómenos y teorías

Volviendo a la idea de que los resultados de las manipulaciones experimentales (de objetos materiales o semi-materiales) expresan la respuesta de la realidad, (o la que sería su respuesta en las condiciones simuladas) —¿significa esto que tales resultados son completamente independientes de las teorías?

La diferencia entre datos y fenómenos establecida por el experimentalismo es interesante para responder a este interrogante²¹. Los datos son accesibles a nuestros sentidos e instrumentos, “son registros visualmente detectables”²²; y son independientes

de las teorías. Los fenómenos son las propiedades generales de las entidades del mundo que inferimos de los datos, por lo tanto, son también independientes de las teorías²³. Los fenómenos son el resultado de la inferencia estadística de los datos registrados en experimentos sucesivos. Como señalan Bogen y Woodward, “estamos justificados en creer afirmaciones sobre fenómenos mientras haya datos disponibles que constituyan evidencia confiable de tales afirmaciones (...)”²⁴. Las afirmaciones fenomenológicas son fundamentales en el conocimiento científico, y su contenido de verdad es independiente de las teorías.

Fenómenos tales como “los huesos de cadera sometidos a grandes fuerzas se rompen” o “los metales se dilatan cuando se calientan”, son inferidos a partir de datos manipulados en experimentos virtuales o materiales. Se constituyen así enunciados fenomenológicos que afirman propiedades generales de las entidades del mundo natural, o social, inferidas de los datos; por tanto, son independientes de las teorías. Sin embargo, la inferencia de la evolución de nuestra galaxia implica algunas hipótesis teóricas especificadas por el modelo teórico. En la simulación de la evolución de nuestra galaxia, la teoría juega un papel más relevante que en la simulación del comportamiento de la estructura del hueso de cadera en condiciones de fuerzas extremas. ¿Este hecho nos permite ser menos realistas sobre la evolución de nuestra galaxia o el comportamiento de la Vía Láctea que sobre la respuesta del hueso de cadera en condiciones de fuerzas extremas?²⁵ La respuesta depende de la medida en que los fenómenos y las afirmaciones sobre los fenómenos sean independientes de las teorías.

La tesis de que las propiedades generales de las entidades del mundo constituyen fenómenos independientes de las teorías es muy interesante. Pero esta tesis plantea problemas cuando se afirman propiedades generales de entidades inobservables que se investigan en el marco de las teorías que las implican. En este caso la inferencia de propiedades no se lleva a cabo con total independencia teórica²⁶.

23. Véase una propuesta realista causal que refiere a propiedades, disposiciones y poderes, GÓMEZ, A., “Causation and Scientific Realism: Mechanisms and Powers without Essentialism”, en AGAZZI, E. (ed), *Varieties of Scientific Realism. Objectivity and Truth in Scientific Realism*, Springer, Dordrecht, 2017, pp. 367-383.

24. BOGEN, J. y WOODWARD, J., “Saving the Phenomena”, *Philosophical Review*, v. 97, (1988), p. 350.

25. Para una visión de las recientes tendencias realistas véase la relevante obra colectiva publicada recientemente AGAZZI, E. (ed), *Varieties of Scientific Realism. Objectivity and Truth in Scientific Realism*, Springer, Dordrecht, 2017.

26. Agradezco a Michela Massimi haberme señalado que algunos fenómenos son inobservables y tienen un estatus epistémico especial. Estos fenómenos son el resultado de dos procesos: un valor inesperado, medido en un modelo de datos y el uso de modelos teóricos para lograr un mejor ajuste con el modelo de

21. Véase BOGEN, J., WOODWARD, J., “Saving the Phenomena”, *Philosophical Review*, v. 97, (1988), pp. 303-352.

22. MASSIMI, M., “Saving Unobservable Phenomena”, *The British Journal for the Philosophy of Science*, v. 58, (2007), p. 239.

Esto no significa que estén determinadas por la teoría, ya que dependen también de los datos, del contexto experimental y de la historia del experimento²⁷. Pero, todavía, la teoría juega un papel relevante en la inferencia de propiedades. Por ejemplo, en palabras de Massimi, “la evidencia y la teoría están inextricablemente entrelazadas al fundamentar nuestra creencia en los quarks de colores”²⁸.

En el caso de las propiedades de las entidades teóricas no existe una completa independencia entre las afirmaciones de las propiedades generales (fenómenos) y las teorías. Sin duda, los resultados experimentales observados realmente suceden (en el laboratorio). No hay problema, por ejemplo, en aceptar que en el experimento con rayos catódicos, Thomson encontró “partículas con una carga negativa mínima”²⁹. Pero el hecho de que estos datos se conviertan en “electrones” no es independiente de las teorías de Lorentz³⁰. La entidad a la que hace referencia el término “electrón” tiene un grupo de propiedades importantes (masa, spin, carga eléctrica...) cuya descripción implica teorías científicas.

Experimentos en los cuales entidades que en principio no pueden ser observadas producen efectos que muestran la existencia de esas entidades³¹. Pero que tales efectos se conviertan en propiedades generales de las entidades (en fenómenos), no solo depende de los datos experimentales, sino, al menos parcialmente, también de las teorías. Faraday encontró “que el plano de polarización de

un rayo de luz rotaba cuando se le enviaba a través de un vidrio borosilicato, paralelo a las líneas de fuerza magnética”³². La comprensión de este hecho como propiedad física general y fundamental (la conexión entre electromagnetismo y luz) dependía de las asunciones teóricas, las representaciones matemáticas, los modelos elaborados, los argumentos usados (simetría de Maxwell) y de las explicaciones físicas formuladas³³. Como señala Massimi en su interesante análisis de los modelos de partón y quark de los hadrones, “ver los constituyentes del nucleón, presupone una cantidad masiva de teoría. Por ejemplo, presupone asunciones teóricas sobre las técnicas de dispersión (...) una teoría sobre el trabajo de los espectrómetros (...) una cadena entrelazada de generalizaciones de bajo nivel, así como el recurso a leyes fundamentales como las de la conservación del momento y la energía. Pero, presupone también algunas asunciones teóricas cruciales sobre los mismos hechos bajo investigación”³⁴.

Por otro lado, en contextos científicos poco desarrollados, la inferencia de fenómenos (propiedades) a partir de datos puede presuponer asunciones no científicas. Un excelente ejemplo de esto es la inferencia que hicieron los frenólogos del siglo XIX a partir de datos diferenciales sobre el peso del cerebro de hombres y mujeres. A partir de esos datos infirieron que la inteligencia estaba en relación directa con el peso del cerebro, como propiedad general. De ello infirieron que dado que como promedio el cerebro de las mujeres pesaba menos, estas eran intelectualmente inferiores a los hombres. Los fenómenos resultantes de la investigación diferencial con seres humanos han demostrado ser altamente sensibles a este tipo de inferencias. Las asunciones implicadas en la inferencia de propiedades intelectuales, conductuales (y de otro tipo) son una mezcla de hipótesis no probadas y conjuntos de creencias dominantes en la cultura del momento.

De esta manera, puede afirmarse como tesis general que los datos expresan la respuesta experimental y las propiedades se infieren de ellos; aunque en el caso de entidades no observables las propiedades también tienen que ver con las teorías en cuestión. Dependen de los resultados experimentales

datos. Ver su análisis de estos fenómenos en MASSIMI, M., “Saving Unobservable Phenomena”, *The British Journal for the Philosophy of Science*, v. 58, (2007), pp. 235-262.

27. Hacking, sin embargo, da un papel relativo a las teorías y modelos, ya que los investigadores pueden ser bastante agnósticos respecto a ellas. Hacking afirma “Various properties are confidently ascribed to electrons, but most of the confident properties are expressed in numerous different theories or models about which an experimenter can be rather agnostic”, véase HACKING, I., *Representing and Intervening. Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, pp. 263-264.

28. MASSIMI, M., “Non-defensible Middle Ground for Experimental Realism: Why we are Justified to Believe in Colored Quarks”, *Philosophy of Science*, v. 71, n. 1, (2004), p. 39.

29. HACKING, I., *Representing and Intervening. Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, p. 83.

30. Thomson los llamó primero “partículas ultraómicas” y después “corpúsculos”, en HACKING, I., *Representing and Intervening. Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, p. 83.

31. Hacking afirma, “entities that in principle cannot be ‘observed’ are regularly manipulated to produce a new phenomena and to investigate other aspects of nature”, en HACKING, I., *Representing and Intervening. Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, p. 262. Esta tesis es cuestionada por Zeidler y Sobczynska, en ZEIDLER, P. y SOBCZYNSKA, D., “The Idea of Realism in the New Experimentalism and the Problem of Existence of Theoretical Entities in Chemistry”, *Foundations of Science*, v. 1, n. 4, (1995), pp. 517-535.

32. HACKING, I., *Representing and Intervening. Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, p. 211.

33. Enumerado por Hacking quien añade “often, of course, the big speculation comes first”. Del efecto Faraday se derivó que “there might be a single theory unifying light and electromagnetism”. La razón de esta interpretación fue que “(...) Faraday was convinced that all forces of the nature must be interconnected”; véase HACKING, I., *Representing and Intervening. Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, p. 212.

34. MASSIMI, M., “Non-defensible Middle Ground for Experimental Realism: Why we are Justified to Believe in Colored Quarks”, p. 49.

pero, en parte, también de las teorías (y a veces de otras asunciones como señala Longino). Lo que no significa que invariablemente las afirmaciones fenomenológicas generales queden vinculadas a las teorías.

Reconocer que, en ciertos casos, lo que se afirma como fenómeno también depende de nuestro estado del conocimiento, no significa afirmar que toda observación esté cargada de teoría³⁵. Por ejemplo, es más fácil que en la simulación de la evolución de nuestra galaxia cambien algunas propiedades, que lo haga la propiedad de la rotura de un hueso sometido a grandes fuerzas. Este segundo tipo de fenómenos se mantendrá a pesar del hecho de que los datos hayan sido obtenidos por simulación, y a pesar de que la forma en que se les explique teóricamente pueda cambiar. Pero, el primer tipo de fenómenos (la evolución de nuestra galaxia) dependerá estrechamente de la evolución de los modelos teóricos del universo. Es decir, cuando se da una mayor intervención de las teorías en la inferencia de propiedades estas pueden variar con el cambio de teoría, aunque sea parcialmente. Sin embargo, aun en estos casos no siempre es así y ciertos fenómenos (o aspectos de dichos fenómenos) permanecen constantes a pesar de los cambios teóricos. Cuando las propiedades son básicamente inferidas de los datos que ofrece la manipulación experimental, las propiedades tienden a conservarse en parte o totalmente a través de los cambios teóricos. Es cierto que la vida de ciertos fenómenos es mucho más larga que la vida de cualquier teoría diseñada para explicarlos.

En cuanto al papel de las teorías en la experimentación la cuestión relevante no es sólo el rol desempeñado por ellas en el establecimiento de las propiedades de las entidades y, así, de los fenómenos, sino el estado de las teorías y si tenemos buenas razones para ser realistas acerca de ellas³⁶. Tal tipo de buenas razones han sido bien fundamentadas en

35. Como señala Massimi, “estamos justificados en creer en Quarks coloreados”; véase MASSIMI, M., “Non-defensible Middle Ground for Experimental Realism: Why we are Justified to Believe in Colored Quarks”, *Philosophy of Science*, v. 71, n. 1, (2004), p. 50.

36. De acuerdo a la bien conocida afirmación de Resnik: “the experimental realist can only have knowledge about theoretical entities if she assumes that the theories which describe those entities are at least approximately true”; véase RESNIK, D. B., “Hacking’s Experimental Realism”. En CURD, M. y COVER, J. A. (eds), *Philosophy of Science: The Central Issues*, W. V. Norton and Company, New York, 1994, p. 395.

Bibliografía

AGAZZI, E., “Problemi di epistemologia contemporanea”, *Quaderni Della Società Filosofica Italiana*, n. 1-2, (1979), pp. 5-61.

términos del realismo selectivo, por autores como, entre otros, Leplin, Worrall, Psillos, Cordero o Kitcher —y su argumento optimista³⁷.

4. Conclusiones

Volviendo a las preguntas formuladas al principio de este trabajo, y de acuerdo con el enfoque epistemológico sostenido, podemos afirmar que: a) los experimentos virtuales con objetos semi-materiales son un recurso que aumenta el conocimiento científico al proporcionar información relevante de los sistemas materiales, puesto que los resultados obtenidos puede extenderse a estos sistemas; b) en el caso de experimentos con representaciones altamente idealizadas, básicamente se derivan resultados inherentes al modelo de manera similar a las operaciones en modelos matemáticos. Es posible extender los resultados a los sistemas materiales pero de forma bastante parcial y, además, en ocasiones de estos sistemas sólo se dispone de modelos. En estos casos el conocimiento obtenido es muy hipotético y tentativo. Como se ha argumentado, la situación es diferente con los experimentos del primer tipo (con objetos semi-materiales). Se puede ser realista con respecto al comportamiento y propiedades de estructuras cuya representación es muy precisa y verosímil, y los resultados de la simulación satisfacen ciertas condiciones respecto al sistema material. Pero hay que señalar también, que los experimentos con representaciones muy idealizadas constituyen un recurso científico importante, ya que permiten mejorar la comprensión de sistemas materiales altamente complejos y no muy bien entendidos, y ayudan a definir ciertas relaciones y a formular hipótesis, como ocurre en el caso de la evolución de nuestra galaxia.

Finalmente, señalar que lo que se deriva de la argumentación desarrollada en este artículo, es que los experimentos virtuales más que implicar nuevas epistemologías, plantean nuevos desafíos a las epistemologías existentes.

37. LEPLIN, J., *A Novel Defense of Scientific Realism*, Oxford University Press, Oxford, 1997; WORRALL, J., “Structural Realism: The Best of Both Worlds?”, *Dialectica* 43, (1989), pp. 99-124; PSILLOS, S., *Scientific Realism*, Routledge, Londres, 1999; CORDERO, A., “Scientific Realism and the *Divide et Impera* Strategy: The Ether Saga Revisited”, *Philosophy of Science*, v. 78, (2011), pp. 1120-1130; CORDERO, A., “Retention, Truth-Content and Selective Realism”. En AGAZZI, E. (ed), *Varieties of Scientific Realism. Objectivity and Truth in Scientific Realism*, Springer, Dordrecht, 2017, pp. 245-256; KITCHER, PH., *The Advancement of Science*, Oxford University Press, Oxford, 1993.

- AGAZZI, E., "Il significato dell'oggettività nel discorso scientifico". En MINAZZI, F. (ed), *L'oggettività della conoscenza scientifica*, Ed. Franco Angeli, Milán,(1996), pp. 19-35.
- AGAZZI, E. (ed), *Varieties of Scientific Realism. Objectivity and Truth in Scientific Realism*, Springer, Dordrecht, 2017.
- BOGEN, J. y WOODWARD, J., "Saving the Phenomena", *Philosophical Review*, v. 97, (1988), pp. 303-352.
- CORDERO, A., "Scientific Realism and the *Divide et Impera* Strategy: The Ether Saga Revisited", *Philosophy of Science*, v. 78, (2011), pp. 1120-1130.
- CORDERO, A., "Retention, Truth-Content and Selective Realism", en AGAZZI, E. (ed), *Varieties of Scientific Realism. Objectivity and Truth in Scientific Realism*, Springer, Dordrecht, 2017, pp. 245-256.
- CURD, M. y COVER, J. A. (eds), *Philosophy of Science: the Central Issues*, W. V. Norton and Company, New York, 1994.
- FERREIRÓS, J., "Hacia una filosofía de la experimentación", *Crítica. Revista Hispanoamericana de Filosofía*, v. 34, nº 102, (2002), pp. 47-86.
- GÓMEZ, A., *Filosofía y metodología de las ciencias sociales*, Alianza Editorial, Madrid, 2003.
- GÓMEZ, A., "Causation and Scientific Realism: Mechanisms and Powers without Essentialism", en AGAZZI, E. (ed). *Varieties of Scientific Realism. Objectivity and Truth in Scientific Realism*, Springer, Dordrecht, 2017, pp. 367-383.
- GONZÁLEZ, W. J., "El realismo y sus variedades: El debate actual sobre las bases filosóficas de la Ciencia", en CARRERAS A. (ed), *Conocimiento, Ciencia y Realidad*, Seminario Interdisciplinar de la Universidad de Zaragoza-Ediciones Mira, Zaragoza, 1993, pp. 11-58.
- GONZÁLEZ, W. J., "The Philosophical Approach to Science, Technology and Society", en GONZÁLEZ, W. J. (ed), *Science Technology and Society: A Philosophical Perspective*, Netbiblo, A Coruña, 2005, pp. 3-49.
- HACKING, I., *Representing and Intervening. Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, Cambridge University Press, Cambridge, 1983.
- KELLER, E. F., "Models, Simulation, and 'Computer Experiments'", en RADDER, H. (ed), *The Philosophy of Scientific Experimentation*, University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, 2003, pp. 198-215.
- KITCHER, PH., *The Advancement of Science*, Oxford University Press, Oxford, 1993.
- LEPLIN, J., *A Novel Defense of Scientific Realism*, Oxford University Press, Oxford, 1997.
- LONGINO, H., *Science as Social Knowledge*, Princeton University Press, Princeton, 1990.
- MASSIMI, M., "Non-defensible Middle Ground for Experimental Realism: Why we are Justified to Believe in Colored Quarks", *Philosophy of Science*, v. 71, n. 1, (2004), pp. 36-60.
- MASSIMI, M., "Saving Unobservable Phenomena", *The British Journal for the Philosophy of Science*, v. 58, (2007), pp. 235-262.
- MORGAN, M. S. y MORRISON, M. (eds), *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- MORGAN, M. S., "Model Experiments and Models in Experiments", en MAGNANI, L. y NERSESSIAN N. J. (eds), *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values*, Kluwer /Plenum, New York, 2002, pp. 41-58.
- MORGAN, M. S., "Experiments without Intervention: Model Experiments, Virtual Experiments and Virtually Experiments", en RADDER, H. (ed), *The Philosophy of Scientific Experimentation*, University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, 2003, pp. 216-235.
- MORGAN, M. S., "Experiments versus Models: New Phenomena, Inference and Surprise", *Journal of Economic Methodology*, v. 12, n. 2, (2005), pp. 317-329.
- MORGAN, M. S. y QIN, D., "Econometrics, History of", en WRIGHT, J. D. (ed), *International Encyclopedia of Social and Behavioral Sciences*, Elsevier, Ámsterdam, 2015, pp. 4065-4069.
- PESCHEL, M. F. y SCHEUTZ, M., "Explicating the Epistemological Rol of Simulation in the Development of Theories of Cognition", en KORTA, K. y LARRAZABAL, J. M. (eds), *Truth, Rationality, Cognition and Music: Proceedings of 7th International Colloquium of Cognitive Science*, Kluwer, Dordrecht, 2004, pp. 274-281.
- PSILLOS, S., *Scientific Realism*, Routledge, Londres, 1999.
- RADDER, H. (ed), *The Philosophy of Scientific Experimentation*, Pittsburgh University Press, Pittsburgh, 2003.
- RESNIK, D. B., "Hacking's Experimental Realism", en CURD, M. y COVER, J. A. (eds), *Philosophy of Science: The Central Issues*, W. V. Norton and Company, New York, 1994, pp. 1153-1168.
- SHAPER, D., "Astronomy and Anti-Realism", *Philosophy of Science*, v. 60, (1993), pp.134-150.
- ZEIDLER, P. y SOBECZYNSKA, D., "The Idea of Realism in the New Experimentalism and the Problem of Existence of Theoretical Entities in Chemistry", *Foundations of Science*, v. 1, n. 4, (1995), pp. 517-535.
- WORRALL, J., "Structural Realism: The Best of Both Worlds?", *Dialectica*, v. 43, (1989), pp. 99-124.