

## ¿SON EXPERIMENTOS GENUINOS LOS EXPERIMENTOS MENTALES?<sup>1</sup>

## ARE THOUGHT EXPERIMENTS GENUINE EXPERIMENTS?

**Guadalupe Mettini<sup>2</sup>**

Universidad Nacional Autónoma de México

guadalupemettini@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4271-6616

Recibido: 07-06-2024 • Aceptado: 30-09-2024

### RESUMEN

Se ha argumentado que, aunque la ausencia de intervención en el mundo material priva a la experimentación mental de la fuente más importante de conocimiento objetivo, se parece a los experimentos reales lo suficiente como para afirmar que se trata del mismo tipo de práctica. En este artículo establezco el alcance de esta interpretación. Me apoyo en la epistemología de la experimentación científica para señalar que las perspectivas que sostienen que los experimentos mentales son experimentos, emplean analogías ilegítimas y no profundizan en las características

<sup>1</sup> Este trabajo fue financiado por el Programa de Becas posdoctorales de la Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>2</sup> Profesora de Filosofía por la Universidad Nacional del Litoral y doctora en Filosofía por la Universidad de Buenos Aires. Su tema de investigación principal es la modelización científica. Actualmente, estudia las relaciones entre los experimentos mentales, las simulaciones computacionales y los modelos científicos, centrado en las estrategias de idealización en estos dispositivos. Realizó su doctorado y posdoctorado con el apoyo del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). En la actualidad, es investigadora posdoctoral en el Instituto de Investigaciones Filosóficas de la Universidad Nacional Autónoma de México.

propias de la experimentación científica. Argumento que estas comparaciones son inadecuadas, pero que subsisten aspectos en los que experimentos mentales y reales son semejantes y que merecen ser examinados con más cuidado. Para apoyar este argumento examino un experimento mental propuesto por Richard Feynman en 1965, que descansa en un conjunto de habilidades fundamentales para la experimentación desarrolladas en la formación científica y se funda en el conocimiento teórico y en la habilidad para reconstruir cadenas causales.

**PALABRAS CLAVE:** observación, experimentación, intervención material, conocimiento teórico, cadenas causales.

### Abstract

It has been argued that thought experiments are sufficiently similar to real experiments to claim that they constitute the same kind of practice, even though the lack of intervention in the material world deprives thought experiments of their main source of objective knowledge. In this paper, I attempt to delineate the scope of this interpretation. I argue that perspectives that assert the equivalence of thought and real experimentation often use inappropriate analogies and fail to examine the specific characteristics of scientific experimentation. I argue that while these comparisons fall short, there are aspects in which thought experiments and real experiments share significant similarities that merit careful examination. To support this argument, I analyze a thought experiment proposed by Richard Feynman in 1965. I show that this experiment relies on a set of essential experimental skills developed through scientific training, relies on theoretical knowledge, and involves the ability to reconstruct causal chains.

**KEYWORDS:** observation, experimentation, material intervention, theoretical knowledge, causal chains.

## 1. Introducción

**RI** Algunos filósofos han argumentado que, aunque es posible establecer analogías entre los experimentos reales y los experimentos mentales, la ausencia de intervención en el mundo material priva a la experimentación mental de la fuente más importante de conocimiento objetivo y, en consecuencia, no puede afirmarse que los experimentos mentales sean experimentos genuinos. Otros, en cambio, han sostenido que la manipulación de variables en la imaginación, la perspectiva de primera persona y las actividades de visualización que tienen lugar en los experimentos mentales son razones suficientes para defender que corresponden a las prácticas de los experimentos reales.

En este trabajo me propongo establecer el alcance de la interpretación de acuerdo con la cual los experimentos mentales son propiamente experimentos. Para ello retomo parte de la epistemología de los experimentos reales. Examinó las semejanzas y diferencias entre observación ordinaria y científica, y entre observación y experimentación científicas. Argumento que el análisis de las prácticas experimentales ha demostrado que la observación y la experimentación científica tienen características propias que las diferencian de la observación en su sentido ordinario y también entre sí. Luego, analizo la interpretación de que los experimentos mentales son experimentos. Muestro que esta lectura se basa en analogías ilegítimas y no profundiza en las características propias de la experimentación científica. Argumento que estas comparaciones son inadecuadas, pero que subsisten aspectos en los que experimentos reales y mentales son semejantes, por lo que merecen ser examinados con más cuidado. Luego reviso un experimento mental sorprendente, el experimento de la doble rendija tal como fuera formulado por Feynman en 1965. Aunque en este caso no hay intervención en el mundo natural, el experimento pudo realizarse como experimento real mucho tiempo después y predijo los resultados obtenidos en la realización material. Sostengo que esto fue posible porque el experimento tiene una serie de características que comparte con los experimentos reales exitosos. El experimento de Feynman descansa en un conjunto de habilidades fundamentales para la experimentación desarrolladas en la formación científica, se funda en el conocimiento teórico y en la habilidad para reconstruir cadenas causales.

Mi respuesta a la pregunta que titula este trabajo es que la analogía entre experimentos mentales y reales debe ser acotada a ciertos aspectos. Aunque los experimentos mentales comparten algunos rasgos con los experimentos reales, estos no son los que se han empleado para argumentar la continuidad entre estas dos prácticas.

## *2. Observación reconceptualizada*

El interés por la práctica científica condujo a una reconceptualización de las nociones de observación y observabilidad. Algunos filósofos desarrollaron estudios sistemáticos sobre estos conceptos, basándose en la descripción del proceso mediante el que se obtiene información acerca del mundo. Estas perspectivas se centran en estudios de caso, especialmente tomados del contexto de la experimentación en física, y ofrecen una imagen más adecuada de las características de los procesos de observación en la ciencia actual, así como de los elementos que fundamentan la confianza en estos procesos. Examinaré estas conceptualizaciones y mostraré

que la noción de observación científica de estas elaboraciones evidencia la falta de analogía con la observación ordinaria, especificando los criterios que hacen que la observación científica sea epistémicamente relevante.

A diferencia de la observación en sentido ordinario, que podría caracterizarse como primitiva, pasiva y cercana a los procesos perceptuales, la observación científica es sistemática, planificada, asistida y mediada por instrumentos y artefactos que hacen posible su estandarización y registro. Es por ello que la conceptualización de la noción de observación científica se centró en la de interacción física. Dudley Shapere fue el primero en vincular estos conceptos. Según su punto de vista, la observación es una subespecie de interacción entre una entidad X y un receptor, en la que cierta información de X es transferida al receptor. Asimismo, la observación es una función del estado de conocimiento vigente y puede cambiar conforme dicho conocimiento evoluciona. El conocimiento físico disponible especifica qué cuenta como “un receptor apropiado” y qué cuenta como “información” (Shapere, 1982, p. 488). Este proceso de detección, aunque en algunos casos, como en la observación de neutrinos (p. 492), involucre una sucesión de eventos, es lo que caracteriza a la observación científica<sup>3</sup>.

Por otra parte, la reflexión centrada en las prácticas experimentales atiende a la crítica de la concepción clásica de la neutralidad de la observación y explicita el sentido en el que la observación científica puede entenderse teóricamente cargada. De acuerdo con esta interpretación, la observación es un proceso en el que se obtiene información acerca de algún aspecto del mundo examinando un ítem que es accesible a la percepción, para lo cual es preciso contar con el conocimiento de fondo pertinente para reconstruir la cadena causal que va desde el ítem perceptible hasta el objeto del mundo que lo produce (Brown, 1987, p. 93). Sin embargo, aunque la teoría es imprescindible para la interpretación de la información relevante, la

<sup>3</sup> Otras contribuciones importantes sobre la percepción y la tesis de la carga teórica se encuentran en el debate entre Fodor y Churchland, quienes discuten si nuestros sistemas perceptuales están aislados de las influencias cognitivas. Fodor (1984) critica la idea del carácter teóricamente cargado del conocimiento perceptual y la visión holística de la epistemología humana, defendida por autores como Hanson (1958), Kuhn (1962) y Churchland (1979), al proponer la modularidad de los sistemas perceptivos. Churchland (1988), por su parte, sostiene que las teorías científicas y las experiencias modifican la forma en que percibimos el mundo. Aunque es posible encontrar una continuidad entre la noción de observación científica que adopto para analizar las prácticas experimentales y la perspectiva de Fodor –en tanto ambas limitan de alguna manera la penetración teórica en los juicios observacionales–, las reflexiones que abordo en este trabajo se centran en la conceptualización de la observación científica desde el punto de vista de la interacción física. Por esta razón, dejo de lado otras contribuciones que, sin duda son significativas, tratan el problema desde la cognición o la filosofía de la psicología.

observación es capaz de proporcionar evidencia a favor o en contra de hipótesis científicas, porque involucra alguna forma de interacción con el mundo físico.

Ian Hacking establece, sobre la base de reflexiones similares, un criterio para establecer la relevancia epistémica de las observaciones. De acuerdo con su argumento, advertir los resultados que se siguen de la intervención sobre el ítem bajo observación incrementa la confianza en el buen funcionamiento del dispositivo empleado y en el resultado mismo de la observación. Asimismo, en tanto las teorías subyacentes al mecanismo de detección no estén directamente vinculadas con el objeto de observación, este puede considerarse teóricamente independiente. Las teorías acerca del funcionamiento del microscopio, por ejemplo, se han modificado drásticamente y la capacidad de este tipo de instrumental se ha incrementado considerablemente, pero a pesar de todos estos cambios los resultados permanecen estables (Hacking, 1983, p. 191).

En esta perspectiva, la distancia entre el observador y el ítem observado y la cantidad de teoría necesaria para interpretar la información acerca de dicho ítem, es lo que permite establecer grados de observabilidad. De acuerdo con Peter Kosso (1989, p. 32) el par ordenado <objeto x, propiedad P> es observado en tanto hay una interacción o una cadena de interacciones entre 'x' y un aparato tal que permita transmitir la información 'x es P' a un observador. Las leyes físicas especifican cuáles son las interacciones posibles, cuándo pueden ocurrir y en qué consisten. Una cadena de interacción consiste en una secuencia temporal de interacciones en la que cada antecesor comparte un elemento con su sucesor.

Por otra parte, para la interpretación de la observación basada en la noción de interacción física, las creencias formadas en los procesos de observación científica no son básicas –en el sentido de no inferenciales–, ya que se requiere una cantidad considerable de teoría para decodificar la información relevante en el ítem observado (Brown, 1987, p. 74). De manera que la observación científica es diferente de la observación en sentido ordinario, en la que las creencias podrían considerarse básicas en el sentido en el que son generadas por los procesos perceptivos.

Por último, la perspectiva de la observación como interacción niega que la experiencia perceptual sea individual. A diferencia de la observación ordinaria, la observación científica depende del entrenamiento y prácticas colectivas, la exposición repetida a objetos y el reconocimiento de patrones (Daston, 2008, p. 102). Además, el perceptor, antes centrado en el científico, se desdibuja, y, en muchos casos, el perceptor es un detector. Sin embargo, el rol del individuo no desaparece, pues el vínculo entre el perceptor y el ítem perceptible sigue siendo esencial para mantener la objetividad en la observación científica.

En esta línea, Hans Radder (2006, pp. 72-90) destaca que la percepción no está completamente determinada por el estímulo visual sino que depende de características específicas de los observadores y del proceso de observación. Asimismo,

la interpretación conceptual del proceso no es un logro exclusivo del observador individual, pues los procedimientos de observación y los conceptos empleados para interpretarla son aprendidos en el seno de una comunidad sociocultural. Esta comunidad proporciona la fuente de interpretación conceptual y el criterio de la observación futura<sup>4</sup>.

En síntesis, las nociones de observación y observabilidad acordes con los desarrollos teóricos centrados en las prácticas experimentales se apoyan en el concepto de interacción física, amplían la noción de perceptor antes restringida al científico como sujeto de conocimiento, destacan que estos procesos conllevan un alto grado de interpretación teórica y señalan la inseparabilidad entre las características de la percepción y la intervención (culturalmente determinada) del científico que lleva a cabo este proceso. Aunque desde este punto de vista la percepción ordinaria pierde un lugar de privilegio y se reconoce la importancia de la carga teórica en la interpretación de las observaciones, el vínculo entre el perceptor y el ítem perceptible es fundamental para sustentar la objetividad, ya que se lo considera el indicio del origen de la cadena de interacción causal en un objeto del mundo externo. Asimismo, la capacidad de intervenir en un fenómeno y manipularlo experimentalmente proporciona una robusta justificación para la realidad de los entes observados.

### 3. Fenómenos y datos

La noción de fenómeno también fue analizada desde las perspectivas que desarrollaron una epistemología de la observación y la experimentación científica. Aunque este concepto tiene una extensa historia y existen variaciones significativas en su interpretación desde distintas tradiciones filosóficas, su revisión intentó capturar el significado que adquiere en la práctica científica concreta. Este estudio mostró que existe un sentido interesante en el que los fenómenos son construidos y no simplemente descubiertos por los científicos, pues dependen en gran medida de sus habilidades para identificar patrones e interpretar datos. Estas conceptualizaciones también son relevantes para entender las particularidades de la observación y de la experimentación científica.

<sup>4</sup> Algunas de estas nociones están presentes en la lectura kuhniana, de acuerdo con la cual no existe una alteridad entre conceptos y experiencia, sino que los primeros se encuentran unidos en una matriz de ley, teoría y expectativas empíricas de la cual no pueden ser extraídos. Desde este punto de vista “Los rasgos perceptivos que un paradigma ilumina hasta el punto de mostrar sus regularidades, cambian cuando cambian los compromisos del científico con el paradigma” (Kuhn, 2004, p. 232).

Es posible rastrear una primera revisión y reformulación de la noción de fenómeno en la filosofía de la experimentación en la obra de Hacking, quien sostiene que un fenómeno es un evento o proceso de cierto tipo que ocurre regularmente bajo circunstancias definidas. Cuando conocemos la regularidad exhibida por el fenómeno, la expresamos mediante un enunciado legaliforme. No obstante, no todos los fenómenos consisten en conjunciones constantes preexistentes en la naturaleza. Esta es, según Hacking, una representación propia de la concepción filosófica dominada por la teoría de acuerdo con la que los fenómenos son las consecuencias de las leyes y, por lo tanto, están esperando ser descubiertos o revelados por la labor científica (Hacking, 1983, p. 222). Hacking señala que algunos fenómenos no existen fuera de ciertos tipos de aparatos e independientemente de cierta disposición experimental, debido a que son creados en el laboratorio con la generación de condiciones específicas. Así como somos capaces de analizar la complejidad presente en la naturaleza presentando en el laboratorio el fenómeno puro y aislado, también podemos concebir nuevos fenómenos que no existen en la naturaleza.

James Bogen y James Woodward (1988) también examinaron las relaciones entre teorías, fenómenos y datos. Según su perspectiva, los fenómenos son efectos o procesos que son potenciales objetos de predicción o explicación sistemática de las teorías generales y que, por tanto, servir de evidencia para estas. Por ejemplo, la deflexión de la luz estelar al pasar cerca del Sol, medida por Eddington en el eclipse de 1919, es un fenómeno predicho y explicado por la relatividad general. Los datos, sin embargo, se diferencian de los fenómenos. Los datos son registros públicos (en este caso, fotografías de las posiciones de las estrellas) producidos por mediciones y experimentos, que sirven como evidencia de la existencia del fenómeno o de que posee ciertas características. Los datos guardan una relación causal con los fenómenos pero reflejan, además, aspectos idiosincráticos de las operaciones de medición y experimentación (Bogen y Woodward, 1988, p. 371). Son los datos los que pueden ser observados, aunque no son predichos y explicados por las teorías sistemáticas. Las teorías predicen y explican, según estos autores, hechos acerca de los fenómenos que en sí mismos no son observables en ningún sentido interesante de este término (Bogen y Woodward, 1988, p. 305). Los fenómenos se infieren de los datos y de diferentes tipos. La naturaleza de esta inferencia depende de la información que los datos brinden; puede tratarse de una inferencia estadística, del descubrimiento de un patrón o una correlación, etc. Los fenómenos pueden incluir objetos particulares, eventos, procesos y estados.

En síntesis, los análisis filosóficos centrados en las prácticas experimentales reformularon también la noción tradicional de fenómeno. Según estos enfoques, los fenómenos no son entidades preexistentes en la naturaleza, sino que son el producto de la actividad científica. Esta concepción constructivista de los fenómenos, supone, no obstante, que existe una relación causal entre los datos y los patrones que a partir de estos los científicos pueden reconocer. La distinción entre datos y

fenómenos constituye una clarificación importante para entender en qué consiste la base de contrastación empírica de las teorías científicas. La distinción entre datos y fenómenos destaca, por un lado, la naturaleza abstracta de los segundos, al menos comparados con los primeros, y, por otro, la dependencia teórica<sup>5</sup> y tecnológica de los fenómenos.

#### *4. La epistemología de los experimentos*

La revisión conceptual de las nociones de observación y fenómeno ha mostrado que el control y la manipulación de los objetos de estudio son aspectos compartidos por las prácticas científicas. Esto sugiere que la distinción entre observación y experimentación no es de tipo sino de grado. Algunos autores han señalado que existe una continuidad entre ambas prácticas y que por lo tanto podrían interpretarse como instancias del mismo proceso (Gooding, 1992, p. 68). Otros han sugerido que un enfoque que realiza diferencias tajantes entre estas prácticas no es un marco adecuado para estudiar la experimentación científica de manera sistemática (Malik, 2017, p. 73). No obstante estas observaciones, la diferencia entre observación y experimentación resulta útil para examinar la tesis de que los experimentos mentales son una clase de experimentos.

De acuerdo con Hacking (1983, p. 173), en la experimentación los científicos intervienen activamente en los objetos y sistemas naturales que están investigando. Según esta representación, la naturaleza no es un objeto pasivo que la ciencia descubre y domina, ni es el conocimiento previo el que determina lo que contaremos como un descubrimiento, sino que es la interacción con el mundo la que determina lo que podemos conocer de él (Hacking, 1988, p. 152).

El carácter intervencionista de la experimentación engendra problemas epistemológicos particulares, diferentes de los que plantea la observación. La intervención consiste en una forma de interferencia en el curso de la naturaleza desde la manipulación de sus causas. La experimentación se diferencia de la observación, parafraseando a Hacking, porque, apoyándose en la referencia de Bacon, experimentar consiste en “torcerle la cola al león” (Hacking, 1982, p. 149) y manipular el mundo para aprender sus secretos.

<sup>5</sup> Es importante remarcar que desde esta perspectiva la teoría respecto de la cual los fenómenos son evidencia no predice ni explica los datos y que Bogen y Woodward (p. 333) señalan que la selección, interpretación, evaluación y análisis de datos se hace de manera independiente de las teorías que explican los sistemas que generan dichos datos.



Hacking (1992a) identificó diferentes elementos en la experimentación, a los que clasificó en tres grupos: ideas, cosas y marcas. Llamó ‘ideas’ a los componentes intelectuales de un experimento, como las preguntas, el conocimiento de fondo presupuesto, la teoría sistemática, el modelado del aparato experimental y las hipótesis tópicas. Denominó ‘materiales’ a la sustancia material de la investigación que los investigadores llaman ‘cosas’; entre estas pueden encontrarse, por ejemplo, los instrumentos, las ratas de Noruega y los electrones polarizados. En general, esta categoría está constituida por objetos, fuentes de modificación, herramientas, detectores y generadores de datos. Finalmente, denominó ‘marcas’ a los resultados de un experimento, entre estos, los datos, la reducción de datos, la evaluación de datos, el análisis de datos y la interpretación (Hacking, 1992a, p. 32).

La identificación de las partes o componentes de los experimentos contribuyó a delimitar los problemas epistemológicos propios de estas prácticas, como establecer criterios para determinar si los resultados de un experimento se encuentran suficientemente corroborados (Collins, 1992) o determinar si un experimento particular constituye una instancia de replicación (Franklin, 1984) de un experimento y, como tal, puede contribuir a contrastar el resultado.

El examen filosófico de las prácticas experimentales resalta su autonomía respecto de las teorías científicas. Hacking sostiene que, aunque se necesitan ideas previas sobre la naturaleza y el aparato experimental, un experimento no solo tiene sentido cuando prueba una teoría (1983, p. 154), pues, por ejemplo, los primeros avances en óptica surgieron de fenómenos observados, como la doble refracción del espato de Islandia (p. 156). Además, los experimentos pueden evolucionar y avanzar independientemente de las teorías, pueden madurar, evolucionar, adaptarse o reestructurarse. Como refleja el eslogan de Hacking: “los experimentos tienen vida propia” (p. 150).

En una línea similar, Friedrich Steinle (1997) argumentó que la experimentación exploratoria, es típicamente practicada en períodos en los que no hay teorías o tampoco marco conceptual disponible. A pesar de su independencia de teorías específicas, esta forma de experimentación puede ser altamente sistemática y dirigida por pautas típicas (Steinle, 1997, p. 70).

Por último, se han discutido una serie de criterios para evaluar la confiabilidad de los resultados experimentales. Franklin (2002) desarrolló una epistemología de la experimentación y detalló un conjunto de estrategias que permiten adjudicar un grado de creencia razonable a los resultados experimentales. Además de la confirmación independiente y la estabilidad de las observaciones, señaló como criterios la calibración del aparato experimental a partir de la reproducción de fenómenos conocidos, la reproducción de artificios conocidos de antemano, la eliminación de fuentes de error, el uso de los propios resultados experimentales para argüir a favor de su validez, el empleo de teorías bien conocidas de los fenómenos

para explicar los resultados experimentales, el empleo de aparatos experimentales basados en teorías bien corroboradas y el empleo de argumentos estadísticos para apoyar los resultados (pp. 224-225).

En síntesis, aunque de acuerdo con la conceptualización de la observación y la experimentación científica, existen importantes semejanzas entre ambas prácticas, los experimentos presentan peculiaridades que plantean problemas epistemológicos particulares. Asimismo, los experimentos preservan cierta autonomía respecto de las teorías en tanto pueden cumplir múltiples funciones, pueden evolucionar, producir avances tecnológicos o ser ejecutados en el contexto de supuestos teóricos diferentes. Estas distinciones son importantes porque, si se trata del mismo tipo de práctica entonces estas categorías deberían poder aplicarse para examinar los objetivos cognitivos y las funciones de los experimentos mentales. Del mismo modo, los criterios de confiabilidad empleados para evaluar los experimentos reales deberían poder trasladarse en alguna medida a los experimentos mentales.

### 5. *Experimentos mentales y experimentos reales*

Los experimentos, en el sentido ordinario, han sido desde la Revolución científica, la principal fuente de conocimiento del mundo natural. No obstante, los experimentos mentales han reportado un enorme beneficio en ocasiones en que la experimentación ordinaria estuvo limitada por razones técnicas, y han sido sumamente fértiles para la exploración de hipótesis teóricas en campos donde la experimentación real no era posible. Galileo Galilei (1638) elaboró algunos de los ejemplos más representativos de esta clase de experimentos en física, entre ellos, el famoso experimento de los cuerpos en caída libre, dirigido a mostrar las inconsistencias que se siguen del empleo del concepto aristotélico de velocidad natural. Aunque existe una diversidad de ejemplares que pueden incluirse en esta categoría, todos los casos presentan rasgos comunes. Estos experimentos consisten en la descripción de un escenario o de un aparato experimental y en la especificación de una serie de instrucciones sobre cómo introducir variaciones en la situación representada. La narrativa incluye, además, una interpretación de los resultados de estas acciones en el marco de algunos principios teóricos. Dadas sus evidentes similitudes con los experimentos reales, varias interpretaciones filosóficas acerca de su funcionamiento epistémico se han basado en la analogía con los experimentos ordinarios<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Aunque existen diversas posturas sobre la naturaleza de los experimentos mentales, podemos agruparlas en tres categorías: aquellas que los consideran como verdaderos experimentos, las que los interpretan como argumentos teóricos y las que los entienden como un tipo de modelo mental. La principal rival de la perspectiva

Las perspectivas que interpretan los experimentos mentales como una subespecie de experimentos deben explicar de qué manera estos dispositivos podrían proporcionar conocimiento objetivo del mundo natural en ausencia de observaciones que introduzcan nuevos datos y sin la ejecución del proceso experimental. Una de las formas en que los defensores de esta interpretación han explicado el mecanismo de conocimiento en los experimentos mentales es atribuyendo un rol epistémico a las visualizaciones que tienen lugar en la ejecución de estos experimentos. Según este punto de vista, la representación visual puede suplir la observación en la formación de creencias acerca del mundo físico y justificar hipótesis científicas. Asimismo, se ha atribuido a los experimentos mentales la capacidad de exhibir fenómenos puros, esto es, prescindiendo de datos empíricos y de cualquier interacción con el mundo y, de esta manera, proporcionar un acceso privilegiado al conocimiento de las leyes de la naturaleza. Por último, algunos autores han argumentado que la manipulación del escenario imaginario, es decir, la variación de elementos en una situación imaginada, permite revelar rasgos del mundo natural de forma similar al modo en que la manipulación de variables en una situación controlada lo hace en los experimentos reales.

Examinaré estas tesis para determinar si se basan en analogías apropiadas entre los experimentos mentales y los experimentos reales. Utilizaré la conceptualización que Mary Hesse (1963, p. 8) propone para clasificar las analogías entre modelos y sistemas físicos. Señalaré que existen analogías positivas cuando es posible establecer similitudes significativas entre los experimentos mentales y los reales y analogías negativas cuando es evidente que hay diferencias significativas<sup>7</sup>.

La primera tesis utilizada para argumentar que los experimentos mentales son un tipo de experimentos sugiere que proporcionan conocimiento del mundo natural de manera similar a los experimentos ordinarios, porque la representación visual de un escenario imaginario puede sustituir la observación directa en la formación de creencias sobre el mundo físico. Desde la perspectiva platonista de James Brown (2011, p. 98), algunos experimentos mentales permiten conocer leyes de la naturaleza de manera directa, porque la ejecución de un experimento mental involucra un proceso pictórico, en el que el experimentador debe imaginar una secuencia de eventos. Es a través de este ejercicio que los experimentadores pueden ver (o visualizar) un resultado que los convence de la verdad o falsedad de cierto principio (Brown, 1994, p. 131).

que examino aquí es la que los interpreta como argumentos, representada por John Norton (2004), quien sostiene que los experimentos mentales se reducen a argumentos que reorganizan información empírica. Dado que me enfoco en analizar las similitudes entre experimentos mentales y reales, no profundizo en esta visión.

<sup>7</sup> Hesse también emplea la categoría de analogías neutras cuando se trata de características que aún no se han determinado si son relevantes o no, no tomaré en cuenta esta tercera categoría.

Por su parte, Soren Häggqvist (2009, p. 73) sostiene que los experimentos mentales no pueden reducirse a argumentos, porque no están compuestos por entidades con valor de verdad, sino por eventos o procesos que permiten formar creencias de manera similar a los experimentos reales. Desde su punto de vista, imaginar una secuencia de eventos es un proceso psicológico que tiene los mismos efectos que ejecutar o presenciar un experimento. La única diferencia entre estos es el 'lugar' donde se llevan a cabo. Los experimentos reales se llevan a cabo en el laboratorio, los experimentos mentales en la cabeza del experimentador (p. 61).

En ambas perspectivas, la contemplación de una secuencia de eventos motiva, en los experimentos ordinarios, la aceptación o el rechazo de ciertos enunciados observacionales por parte de los experimentadores (que luego son puestos en relación con enunciados teóricos), y lo mismo sucede con los experimentos mentales. La diferencia radica en que, en los experimentos mentales, esta secuencia de eventos ocurre en la imaginación.

Desde mi punto de vista esta tesis se funda en una analogía negativa entre experimentos mentales y reales, porque el lugar en el que ocurre la secuencia de eventos es un elemento central para la relevancia epistémica de las observaciones científicas y de las interacciones que se realizan en los experimentos ordinarios. Aunque, según las conceptualizaciones de la observación científica, la percepción ordinaria ha perdido su lugar de privilegio y se reconoce la importancia de la carga teórica en la interpretación de las observaciones, el vínculo entre el perceptor y el ítem perceptible es fundamental para sustentar la objetividad. La pérdida de este vínculo implica una seria dificultad para establecer criterios de confiabilidad epistémica en las visualizaciones que tienen lugar en los experimentos mentales y constituye una razón poderosa para cuestionar la analogía entre visualización y observación. Esto es así porque, por un lado, aunque en algunos experimentos los aspectos perceptibles no sean directamente rasgos del objeto bajo observación, sí lo son los efectos de la interacción con ese objeto. Por otro, porque –aunque estos efectos (o *marcas* en la conceptualización de Hacking) sean registrados por instrumentos o aparatos que los convierten en información inteligible para los científicos (por ejemplo cuando los resultados son presentados en forma de gráficos, curvas de probabilidad o algún tipo de representación visual)– los ítems que percibimos son efectos de la interacción causal entre algún tipo de receptor (que puede involucrar tanto al aparato perceptivo humano como al instrumental científico) y el mundo físico. Asimismo, las operaciones descritas en la narrativa de un experimento mental no se ejecutan y, por lo tanto, no es la naturaleza la que determina el resultado, sino nuestras representaciones. No estamos, en palabras de Hacking (1982, p. 149), manipulando el mundo para aprender sus secretos.

De acuerdo con la segunda tesis, los experimentos mentales tienen la capacidad de exhibir fenómenos puros y proporcionar acceso privilegiado al conocimiento de

las leyes naturales sin necesidad de intervenir en el mundo natural. Es importante mencionar que esta afirmación es exclusiva de la interpretación platonista de los experimentos mentales defendida por Brown (1994, 2008, 2011) y se limita a un solo tipo de experimentos mentales, los platónicos. Según esta perspectiva, ciertos experimentos mentales permiten acceder directamente a leyes naturales sin necesidad de inferencias o datos empíricos, porque se basan en una facultad *a priori* que nos permite formar creencias sobre la naturaleza sin interactuar con ella. El argumento de Brown es, en líneas generales, el siguiente: 1) los datos son objeto de la observación o la experiencia; 2) los fenómenos son entidades abstractas, que conservan un carácter fuertemente visual (Brown apoyándose en la lectura de Bogen y Woodward, 1988), son clases naturales o patrones que pueden ser visualizados porque guardan una relación de semejanza con los datos; 3) al igual que las observaciones, las visualizaciones pueden desempeñar ser evidencia. Brown concluye que podemos justificar una hipótesis mediante la presentación en la mente de imágenes de los fenómenos.

Incluso si aceptamos la posibilidad del conocimiento *a priori* y de la robusta metafísica que esta perspectiva requiere (Brown, 1994, pp. 98-125; 2011, pp. 98-108), el problema con este punto de vista es que asume precisamente lo que la crítica a la concepción tradicional de fenómeno intenta desechar. La idea de que podemos acceder a los fenómenos con independencia de los datos supone que estos preexisten a su construcción o, al menos, que no dependen ontológicamente de los datos. Para la posición de Bogen y Woodward (1988, p. 371), los datos son evidencia del fenómeno y es a través del complejo proceso de construcción –que implica la eliminación del error, la singularización de una gran masa de datos, el análisis estadístico, etc.– que los fenómenos son producidos. Dado que existe una conexión causal entre datos y fenómenos, no se postulan procesos de conocimiento de los fenómenos que prescindan de los datos. Por lo que, a pesar de que Brown afirma basarse en la conceptualización del fenómeno centrada en la práctica científica, la noción de fenómeno empleada para argumentar la semejanza entre los experimentos mentales y reales se funda en una analogía negativa. Incluso, si algunos experimentos mentales pueden exhibir fenómenos en el sentido señalado dado por Brown, estos no son fenómenos contruidos por el trabajo científico, sino entidades abstractas preexistentes, habitantes de algún cielo platónico esperando a ser descubiertas. Es decir, lo contrario a lo que la conceptualización de la práctica científica (Hacking, 1983, p. 222) describe como fenómeno<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> Hay variadas razones para rechazar el platonismo de Brown que no son discutidas aquí. La principal se funda en la imposibilidad de explicar satisfactoriamente cómo es posible captar leyes de la naturaleza, en su propuesta, interpretadas como universales de segundo orden. Brown argumenta que la intuición racional que posibilita el conocimiento *a priori* de leyes de la naturaleza es el mismo que hace posible conocer directamente entidades y leyes matemáticas. Agrega que

En otro texto, Brown (2008) compara la función de las visualizaciones en los experimentos mentales con la función de los diagramas y los procesos de visualización en matemáticas. Tradicionalmente, se ha interpretado esta clase de estrategias como ayudas psicológicas o didácticas para comprender una prueba, diferentes de las pruebas mismas que consisten en derivaciones expresadas en lenguaje verbal o simbólico. Brown sostiene que los esquemas y diagramas pueden funcionar como pruebas. En el contexto de las matemáticas, donde admite la posibilidad de conocer verdades intuitivamente, las representaciones visuales de este tipo funcionan como intermediarios que nos permiten vislumbrar certezas: “Algunas ‘imágenes’ no son realmente imágenes, son más bien ventanas al cielo platónico [...] como los telescopios asisten al ojo desnudo, algunos diagramas son instrumentos que asisten al ojo de la mente” (Brown, 2008, p. 40).

Para Brown las visualizaciones de los fenómenos en los experimentos mentales en física, cumplen la misma función que algunos diagramas en matemática, esto es, permiten confirmar teorías directamente. Las clases de fenómenos con las que tratan algunos experimentos mentales, permiten acceder directamente a leyes naturales sin requerir de la mediación de una inferencia ni de la presentación de datos empíricos (Brown, 2011, p. 110).

En este caso, incluso si aceptamos esta lectura, según la que las imágenes serían objeto de las visualizaciones en los experimentos mentales son análogas a los diagramas en matemática, las visualizaciones en los experimentos mentales no son análogas a las observaciones o mediciones en los experimentos ordinarios. Tal como es interpretada por la literatura sobre la experimentación científica revisada, la transitividad de la evidencia es entre datos y fenómenos y fenómenos y teorías, pero no es la observación de fenómenos la que proporciona evidencia para las teorías, ya que estos no son observables. Por lo que esta lectura no agrega motivos para interpretar a los experimentos mentales como experimentos. La semejanza entre observaciones y visualizaciones se basa en una analogía negativa.

La tercera tesis empleada que compara experimentos mentales y reales sostiene que la manipulación del escenario imaginario –la variación de elementos en una situación imaginada– permite revelar rasgos del mundo natural de manera similar a la que la manipulación de variables en una situación controlada lo hace en los experimentos. Una versión de esta tesis fue argumentada por Mach, quien afirmó que los experimentos mentales son instancias del método de la variación concomitante y su función es disparar, a través de la descripción de un escenario específico, un proceso mental que permite movilizar el conocimiento intuitivo con el fin de desarrollar un conocimiento nuevo y explícito. En esta línea interpretativa,

---

dicha facultad es falible (Brown, 2008, p. 2), por lo que sería deseable contar criterios de corrección similares a los que existen en la observación ordinaria.

Sorensen (1992, p. 186) sostiene que los experimentos mentales son casos límite de los experimentos reales. En su enfoque, un experimento es esencialmente un procedimiento para plantear o responder una pregunta acerca de relaciones entre variables.

Hay un sentido trivial en el cual manipular variables en la imaginación es diferente de manipular variables en una situación controlada llevada a cabo en el mundo natural. Cuando se imagina una secuencia de eventos o incluso cuando—desde la perspectiva de la primera persona— los experimentadores se imaginan activando un mecanismo, arrojando un objeto o midiendo algún valor, no se inicia ningún tipo de interacción con ítems del mundo natural, por lo que el resultado de esas acciones no es el efecto de ninguna causa natural. En este primer sentido, la analogía en la que se basa la tesis es negativa y si no se añaden otros constreñimientos a la afirmación, no hay razones para pensar que imaginar una secuencia de eventos corresponde con lo que de hecho ocurre si esos eventos tienen lugar en el mundo empírico<sup>9</sup>.

Pero hay razones para argumentar que esta tesis se basa en una analogía positiva. Puede argüirse que la descripción del escenario, procedimiento o mecanismo del experimento mental puede hacerse en un lenguaje relativamente neutral respecto de la teoría, por lo que podría afirmarse que la descripción de estos procesos preserva cierto grado de autonomía teórica en los experimentos mentales, similar a la que tienen los experimentos ordinarios<sup>10</sup>, lo que implicaría que los experimentos mentales pueden replicarse y sus resultados ser interpretados desde diferentes perspectivas teóricas. Esta sería una analogía positiva entre experimentos mentales y reales.

En general, los filósofos de la experimentación han rechazado esta lectura. Según Hacking, a diferencia de los experimentos ordinarios, los experimentos mentales no tienen vida propia (1992b, p. 307) y permanecen fijos a un marco conceptual. Esto significa que están limitados a un contexto y no pueden ser empleados en otros. Al depender de una serie de supuestos básicos tomados de un marco nomológico,

<sup>9</sup> Mach ([1897] 1973, p. 455) y Sorensen (1991, p. 253) coinciden en asumir que la experiencia acumulada y el desarrollo evolutivo de nuestra capacidad de imaginar restringen nuestras representaciones excluyendo algunos escenarios como empíricamente imposibles. Dado que en ambas perspectivas la ejecución de un experimento mental es un acto introspectivo, la falta de criterios internos para evaluar su corrección dificulta diferenciar entre el experimento mental y actividades imaginativas como la fantasía o la ficción.

<sup>10</sup> Bishop (1999, p. 539) sugiere esta distinción, pero no la realiza explícitamente. De acuerdo con su examen el mismo tipo de experimento mental puede ser reproducido incluso con algunos de sus detalles modificados (y seguir siendo el mismo tipo de experimento mental) y su resultado ser interpretado desde diferentes perspectivas teóricas. Este es el caso del experimento de la caja de fotos empleado en la disputa Einstein-Bohr.



los poderes epistémicos de los experimentos mentales se limitan, desde este punto de vista, a su capacidad de exhibir inconsistencias o contradicciones en un marco conceptual. En palabras de Hacking: “Los experimentos mentales se parecen a los chistes o a las ilusiones ópticas. Son experiencias que son difíciles o imposibles de exorcizar. Son como las paradojas que siempre te atrapan no importa qué tan preparado estés.” (p. 307)

Algunos han contraargumentado que los experimentos mentales pueden evolucionar e incluso dar lugar a experimentos reales (Shinod, 2017, p. 91). También se ha afirmado que los experimentos mentales pueden cumplir diferentes funciones e incluso preceder a las teorías (Brown, 2011, p. 33; Shinod, 2017, p. 95). Por último, se ha afirmado que los resultados de los experimentos mentales permanecen robustos al cambio teórico, es decir, que permanecen estables a los cambios en la comprensión teórica (Shinod, 2017, p. 93). Estos argumentos son relevantes porque ponen en relación a los experimentos mentales con la conceptualización de las prácticas experimentales, no obstante, requieren de una profundización.

En la siguiente sección, revisaré un caso que no ha sido analizado en la literatura sobre el funcionamiento epistémico de los experimentos mentales y que contribuye a esclarecer cómo es posible que, en algunos casos, los experimentos mentales produzcan conocimiento sobre el mundo natural sin intervenir en él. Mi interpretación de esta posibilidad es deflacionaria y se basa en la conceptualización de las prácticas experimentales. Considero que algunos experimentos mentales son capaces de hacer esto, porque en su diseño se reconstruyen adecuadamente cadenas causales y los casos que tienen esta característica se fundan en las habilidades experimentales desarrolladas por los científicos que incluyen el conocimiento de las teorías de fondo necesarias para representarse diferentes secuencias de eventos y dar una interpretación de los resultados descritos. Estas son semejanzas relevantes entre los experimentos mentales y reales que no han sido exploradas en las comparaciones precedentes.

### *6. El experimento mental de la doble rendija de Feynman*

El experimento de la doble rendija, tal como lo propuso Richard Feynman a mediados de la década del sesenta, es un caso de interés para examinar las semejanzas entre experimentos reales y mentales. Aunque inicialmente fue concebido como un experimento mental que ilustraba un principio fundamental de la mecánica cuántica, su realización en un laboratorio no fue posible hasta mucho tiempo después, cuando la tecnología permitió reproducir el aparato experimental que produjo el fenómeno



descrito teóricamente<sup>11</sup>. Presento a continuación una reconstrucción de este caso que me permitirá examinarlo en el siguiente apartado.

El experimento de Thomas Young en 1801 proporcionó la primera evidencia convincente de la naturaleza ondulatoria de la luz. Este experimento ganó relevancia en la mecánica cuántica, que postula la dualidad onda-partícula. Según esta, las entidades subatómicas pueden exhibir propiedades de partículas, como localización y momento lineal, o de ondas, como difracción e interferencia. Esto se aplica tanto a partículas materiales, como electrones y protones, como a la radiación electromagnética (luz), que en términos cuánticos se concibe como compuesta por fotones.

Feynman (1965) diseñó un experimento mental técnicamente irrealizable en el momento de su formulación, que exhibe un fenómeno que no es explicable en los términos de la mecánica clásica de partículas. El diseño experimental incluye un aparato capaz de emitir electrones, uno a la vez, frente al cual se encuentra una delgada lámina metálica con dos ranuras muy pequeñas en ella. Más allá de esta pared hay otra lámina que sirve como contención de los electrones que atraviesan la primera pantalla. En esta segunda pantalla se encuentra instalado un detector móvil (imagen 1a). El experimento plantea diferentes escenarios en los que se disparan electrones que atraviesan las rendijas e impactan contra la pantalla de contención.

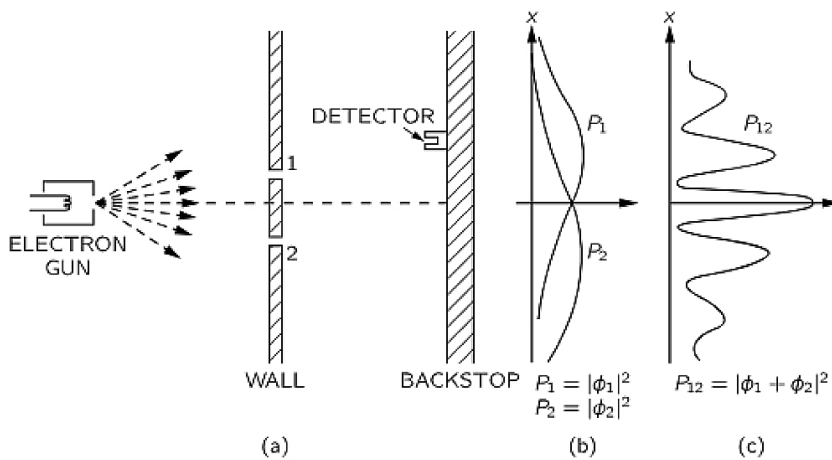
El experimento mental se realiza en dos partes. En la primera parte, el aparato experimental es tal como se describió. Se asume que los electrones son similares a proyectiles que atraviesan alguna de las ranuras de la lámina situada frente al cañón de electrones. Esto significa que los electrones no se dividen al atravesar las rendijas y que llegan completos a la lámina de contención. El cañón dispara los electrones de manera aleatoria en un ángulo amplio y es posible que reboten en los bordes de las ranuras. Si se supone entonces que cada uno de los electrones atraviesa solo una de las ranuras, es posible estimar la probabilidad de que los electrones pasen por una u otra rendija contando el número de electrones que llegan al detector móvil

<sup>11</sup> Sostengo que el experimento de Feynman es un ejemplo claro de un experimento mental, porque describe un escenario o aparato experimental idealizado, junto con instrucciones sobre cómo introducir variaciones en la situación representada. La narrativa incluye una interpretación de los resultados, basada en principios teóricos, mostrando qué se observaría si las interacciones causales entre los distintos elementos ocurrieran realmente. Aunque el experimento no podía realizarse técnicamente en su momento, Feynman lo formuló utilizando analogías con fenómenos familiares, como proyectiles y ondas en el agua, para hacerlo comprensible. Por otra parte, aunque podría atribuirse un propósito pedagógico, que sin dudas ha tenido en la enseñanza de la física, no es excluyente de otras funciones que pudiera desempeñar como una función apologetica respecto de ciertos principios teóricos .

(generando un sonido o “clic” cada vez que esto sucede) en un tiempo determinado y luego calculando la relación entre este número y el número total de electrones que impactan en el la pantalla de contención durante ese tiempo.

Si se bloqueara primero una de las dos rendijas a través de las que pasan los proyectiles y luego la otra, la suma de la distribución de probabilidad que se obtendría en cada caso debería ser equivalente a la distribución de probabilidad que se obtiene cuando ambas rendijas están abiertas. No obstante, para el diseño experimental descrito arriba, el tipo de curva de distribución observada cuando ambas rendijas se encuentran abiertas simultáneamente (imagen 1c) no se parece a la que podría preverse si se considera lo que sucedería con cuando se abre cada rendija separadamente (imagen 1b).

Imagen 1



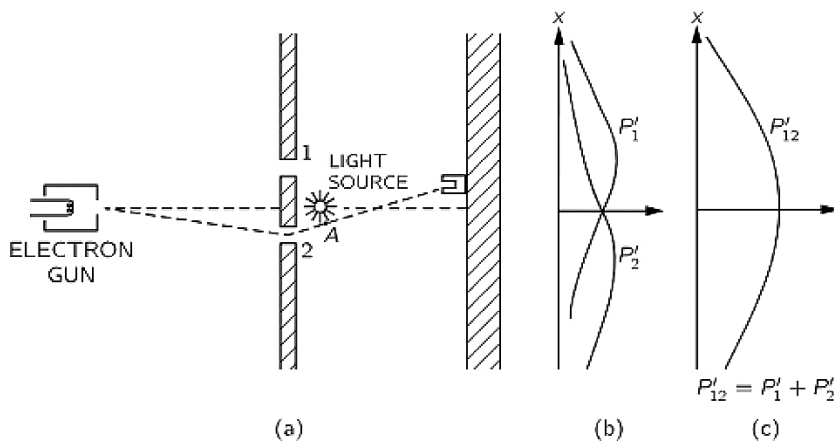
Fuente: R. Feynman, R. Leighton y M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, vol. III.

Feynman señala que cuando ambas rendijas están abiertas el patrón observado es compatible con un patrón de interferencia. Esto implica que no es posible interpretar este resultado como el que se obtendría si los electrones que llegan a la contención lo hicieran como proyectiles o corpúsculos que pasan individualmente por una u otra rendija. La interpretación matemática de este fenómeno es la misma que se emplea para dar sentido a un experimento similar que se realizó con ondas en el agua.

En la segunda parte del experimento, Feynman propone agregar al dispositivo experimental una fuente de luz entre la pantalla con las rendijas y la pantalla de contención (imagen 2a). Dado que las cargas eléctricas dispersan la luz, cada vez que un electrón pasa camino a la contención dispersa algo de luz, permitiendo al experimentador determinar dónde está el electrón. Por lo que, cada vez que un electrón golpea en la pantalla de contención (y el experimentador escucha un clic generado por el detector) es posible ver un destello.

En este escenario, la distribución de los impactos en la pantalla de contención cuando ambas rendijas están abiertas, es equivalente a la suma de la distribución de probabilidad de que los electrones pasen por cada una de las rendijas, es decir, no se produce un patrón de interferencia. Dado que en esta configuración es posible “ver” los electrones cuando ambas rendijas están abiertas la distribución de los impactos es diferente a la que se da en la configuración experimental anterior. De acuerdo con Feynman, esto se debe a que al rastrear los electrones se afecta su trayectoria. Cuando el fotón es dispersado el electrón recibe una sacudida que cambia su trayectoria.

Imagen 2



Fuente: R. Feynman, R. Leighton y M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, vol. III.

Para corroborar que este es el caso, Feynman propone disminuir la intensidad de la fuente luminosa empleada para detectar los electrones. Con ello se disminuiría la frecuencia con la que se emiten los fotones. Esto produciría que algunos electrones

pasen frente a la fuente luminosa sin ser “vistos”. Si se disminuye lo suficiente la intensidad de la luz (empleando luz infrarroja u ondas de radio) para que la amplitud de onda sea mayor que el tamaño de la separación de las rendijas, se produce por el paso de los electrones, un destello borroso, que no permite establecer a través de cuál de las rendijas pasó el electrón. De manera que luego de esta modificación se genera nuevamente el patrón de interferencia. Feynman afirma que es imposible disponer el detector luminoso de tal manera que se pueda saber por qué rendija pasó el electrón sin destruir el patrón de interferencia. La conclusión que, de acuerdo con Feynman, podemos extraer de este experimento es nada más y nada menos que una lección sobre las diferencias entre la mecánica clásica y la mecánica cuántica. El experimento puede ser pensado como una instancia del principio de incertidumbre de Heisenberg (Feynman *et. al.*, 1965, secc.1-8). Este principio no se puede explicar, según Feynman, más de lo que en este caso se ha representado.

Se afirma con frecuencia que la primera realización del experimento de Feynman como experimento real fue llevada a cabo por Akira Tonomura y sus colaboradores en 1989. En el experimento de Bach y sus colaboradores (2013) se cumplieron todas las condiciones del experimento mental de Feynman. En este diseño experimental, ambas rendijas se pueden abrir y cerrar mecánicamente a voluntad y, lo que es más importante, combina esto con la capacidad de detectar un electrón a la vez. Los resultados del experimento real fueron los predichos por el experimento mental (Bach *et al.*, 2013, p. 8).

### *7. Analogías positivas entre experimentos reales y experimentos mentales*

De acuerdo con mi interpretación, experimentos mentales y reales se parecen en que la descripción de los segundos hace posible la reconstrucción precisa de cadenas causales. Aunque no todos los casos de experimentos mentales tienen estas características, aquellos que sí las tienen se basan en las habilidades experimentales de los científicos, que incluyen el dominio de las teorías necesarias para representar diversas secuencias de eventos y ofrecer una interpretación de los resultados. A continuación, justificaré que el experimento de Feynman tiene esta particularidad.

El experimento fue formulado por Feynman como un caso que permite ver con claridad el comportamiento cuántico de los electrones, a pesar de que en su momento era irrealizable como experimento real. Para explicar el fenómeno se emplean comparaciones con el comportamiento de sistemas con los cuales los físicos están familiarizados (aunque los ejemplos referidos por Feynman involucran cierto grado de idealización). El primero de ellos sugiere considerar el tipo de patrón de distribución que podría obtenerse en un escenario como el descrito si se lanzaran

proyectiles a través de una pared que tiene dos rendijas (Feynman, 1965, secc. 1-2). Se supone además que los proyectiles son indestructibles, por lo que llegan siempre completos a la pared de contención y que el arma dispara aleatoriamente los proyectiles en todas las direcciones por lo que solo algunos logran atravesar las rendijas. Feynman supone que, si se instalara un detector, sería fácil determinar la probabilidad de que un proyectil impacte a una distancia  $x$  del centro. El examen del experimento con proyectiles permite arribar a una conclusión más o menos obvia: la distribución de los impactos en la pared de contención es la suma de la distribución de los proyectiles que impactaron en la contención al atravesar la primera rendija y los proyectiles que impactaron al atravesar la segunda rendija.

A continuación, se propone realizar un experimento semejante con ondas en el agua. Este caso supone que el experimentador conoce el comportamiento de las ondas y algunas de las leyes a las que obedece. En este dispositivo, el detector mide la intensidad de las ondas. Cuando ambas rendijas están abiertas, la intensidad de las ondas no es la suma de las intensidades de las ondas provenientes de cada una de las rendijas, sino que, en algunos lugares, donde las ondas están ‘en fase’, los picos de las ondas se suman para producir una gran amplitud y, por lo tanto, una gran intensidad. Las dos ondas ‘interfieren constructivamente’ en tales lugares. En los lugares donde las ondas llegan al detector con un desfase, el movimiento ondulatorio en el detector será la diferencia de las dos amplitudes. Allí donde las ondas interfieren destructivamente el valor de la intensidad de la onda es baja. Cuando las ondas están en perfecta oposición de fase, la interferencia destructiva es completa y el resultado es una plana, de amplitud nula.

Los dos experimentos que anteceden a la formulación del experimento mental propician que los experimentadores puedan imaginar la secuencia y representar el resultado del experimento mental. El diseño del aparato del experimento mental es similar al descrito en el primer experimento (con proyectiles), aunque Feynman agrega que tal diseño experimental no podría disponerse, porque el aparato tendría que hacerse en una escala increíblemente pequeña para mostrar los efectos en los que estamos interesados. No obstante, indica que el resultado del experimento se apoya en la masa de conocimiento experimental que lo antecede. Por un lado, el detector (que podría ser un contador Geiger) permite identificar cada clic con la presencia de un electrón y, por lo tanto, permite concluir que estos llegan a la pantalla de contención como gránulos. Dado este supuesto, es natural imaginar que los electrones pasan a través de una u otra rendija, ya que se los considera como partículas elementales que no pueden dividirse. Si se bloquea una de las rendijas, la distribución de probabilidad que se obtiene es similar a la que se obtuvo en el experimento de los proyectiles. Pero cuando ambas rendijas están abiertas la explicación de la distribución de probabilidad se obtiene empleando la matemática que permite calcular la interferencia entre las ondas de agua (Feynman, 1965, secc. 37-38). Esto le permite derivar la conclusión de que los electrones llegan a la pantalla

de contención como partículas, pero su distribución es similar a la distribución de la intensidad de una onda.

En la conceptualización de Bogen y Woodward (1988), es posible distinguir en cada momento del experimento los datos del fenómeno presentado. Los datos, en este caso, son los puntos de impacto individuales que se registran en la pantalla de detección. El fenómeno en este experimento es el patrón de interferencia que se forma. En términos de Hacking (1983, p. 222), es un fenómeno que no existe fuera de ciertas disposiciones experimentales, ya que solo se produce bajo condiciones específicas.

¿Podría decirse en este caso que el experimento mental imita lo que debería haber sucedido si el experimento se realizara? En cierto sentido, el caso depende del conocimiento experimental previamente acumulado. Asimismo, muestra una fuerte dependencia de los principios teóricos y de la interpretación matemática de los fenómenos con los que el caso está relacionado. Hay un sentido interesante en que el fenómeno en cuestión es visualizable en el experimento mental. La curva que representa la distribución de probabilidad exhibe el patrón de interferencia que posteriormente se observó en el experimento real. Pero esta presentación es en cierto sentido abstracta, derivada de la interpretación matemática del mismo. No obstante, el experimento es sumamente informativo acerca del comportamiento de las partículas. Muestra al mismo tiempo un aspecto del tipo de conocimiento en cuestión: el límite de precisión con que el fenómeno puede ser conocido y las consecuencias de la intervención en la realización de experimentos a esa escala.

El caso presenta importantes similitudes con los experimentos ordinarios: describe un aparato experimental y una serie de operaciones que es necesario realizar para obtener los resultados. Ilustra un fenómeno, lo que depende de una serie de principios teóricos. Aunque el grado de dependencia teórica es alto, esto no lo diferencia del experimento real que es su contraparte.

Por otra parte, el experimento tiene un alto valor pedagógico. Se apoya en análogos macroscópicos, como proyectiles y ondas de agua, y en fenómenos que los físicos conocen de antemano. Por esa razón, después de Feynman, y hasta la actualidad, se lo ha utilizado en prácticamente todos los libros de texto de mecánica cuántica, y en casi todas las presentaciones divulgativas de esta teoría, como un ejemplo que muestra la extrañeza cuántica de manera ejemplar. También se ha empleado para exhibir el poder explicativo de teorías cuánticas alternativas. Así, por ejemplo, Bricmont (2016, pp. 18-24) lo usa como un argumento a favor de la mecánica bohmiana, que, a diferencia de la teoría cuántica ortodoxa, permitiría explicar la producción del patrón de interferencia.

Feynman afirma que el resultado del experimento de las dos rendijas con electrones, a diferencia de los experimentos macroscópicos, como el de Young, no puede explicarse, sino solo describirse (1965, p. 1). Con ello quiere decir que en el

contexto de la teoría cuántica ortodoxa no es posible explicar por qué se produce un patrón de interferencia cuando los electrones atraviesan de a uno las rendijas e impactan en la pantalla detectora como corpúsculos puntuales.

El experimento presenta con relativa simplicidad un fenómeno extraño para la experiencia ordinaria, que siempre se refiere a objetos macroscópicos. De este modo, pretende introducir cierta familiaridad con el comportamiento del mundo cuántico o entrenar la intuición. De acuerdo con Feynman, como no podemos aprender directamente sobre esta clase de fenómenos, tenemos que aprender sobre ellos de una manera abstracta o imaginativa y no por conexión con nuestra experiencia directa.

¿Qué conclusión podría extraerse de la coincidencia entre los resultados del experimento mental y los del experimento real? En principio, dado que los experimentos reales confirman las predicciones de Feynman, podemos señalar que es posible replicar exitosamente el experimento mental como experimento real. No obstante, la replicabilidad es un rasgo que solo algunos experimentos mentales tienen. La narrativa detallada del procedimiento experimental, la relación privilegiada con conocimientos de fondo, la existencia de modelos matemáticos del fenómeno, son características que no todos los experimentos mentales comparten. La dificultad en la realización técnica no constituye un obstáculo para la realización en principio. Por esta razón, es dudoso que la realización material pueda cumplir un rol decisivo en la evaluación de los experimentos mentales exitosos.

## 8. Conclusiones

La revisión de la conceptualización de la observación y la experimentación científicas ha mostrado que los experimentos son procedimientos complejos con objetivos particulares. Están dirigidos a producir enunciados epistémicos altamente dependientes del conocimiento teórico y del desarrollo tecnológico que se inscriben en prácticas sociales específicas. Los experimentos permiten la recolección de datos, la medición de parámetros y la detección de propiedades. Estos registros sirven como evidencia para establecer fenómenos.

Aunque los experimentos requieren componentes teóricos en todas sus fases, intervenir en el mundo físico es su característica fundamental. En el caso de los experimentos reales, se crean o controlan las condiciones físicas que producen ciertos efectos. Los experimentos típicamente aíslan variables para permitir presentar de manera estereotípica algunas relaciones causales, de forma que las interacciones que son posibles en algunos experimentos no se dan de ese modo en el mundo natural. Asimismo, la capacidad de aislar variables adecuadamente para exhibir estas

relaciones causales está determinada por habilidades específicas que se adquieren durante la formación científica. Estas habilidades se basan en un sólido trasfondo teórico y se desarrollan en una cultura científica que presenta sus particularidades.

Además de cumplir múltiples funciones respecto de las teorías, los experimentos algunas veces las han precedido, posibilitando el desarrollo teórico. La experimentación tiene sus propias estrategias de validación, que pueden diferir de las utilizadas en el ámbito teórico. Así, el desarrollo del conocimiento experimental ha estado vinculado tanto al descubrimiento y comprensión de fenómenos naturales como a la búsqueda de diferentes fines epistémicos.

Dadas estas particularidades de la observación y la experimentación científicas, he argumentado que los experimentos mentales y reales se parecen en que la descripción de los segundos permite la reconstrucción precisa de cadenas causales. Aunque no todos los experimentos mentales tienen estas características, aquellos que sí las tienen, se basan en las habilidades experimentales de los científicos. Estas habilidades incluyen el dominio de las teorías necesarias para representar secuencias de eventos y ofrecer una interpretación de los resultados.

En el caso de Feynman, la descripción de los experimentos que preceden a la formulación del experimento mental facilita que los experimentadores puedan imaginar la secuencia y representar el resultado del experimento mental. Estas representaciones dependen del conocimiento experimental acumulado. El experimento presenta, con relativa simplicidad, un fenómeno extraño para la experiencia ordinaria, que siempre se refiere a objetos macroscópicos, y pretende introducir cierta familiaridad con el comportamiento del mundo cuántico o entrenar la intuición.

Mi respuesta a la pregunta que titula este trabajo es que la analogía entre experimentos mentales y reales debe ser acotada a ciertos aspectos. Aunque los experimentos mentales comparten algunos rasgos con los experimentos reales, estos no son los que se han empleado para argumentar la continuidad entre estas dos prácticas. El caso examinado se asemeja a un experimento real en la medida en que permite reconstruir adecuadamente cadenas causales, porque presenta una narrativa detallada del procedimiento experimental, exhibe una relación privilegiada con conocimientos de fondo y emplea modelos matemáticos de fenómenos similares con los que los científicos están familiarizados.

## Referencias

- Bach, R., Pope, D., Hwang, L., y Batelaan, H. (2013). Controlled Double-slit Electron Diffraction. *New Journal of Physics*, 15, 033018. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/15/3/033018>



- Bishop, M. (1999). Why Thought Experiments Are Not Arguments. *Philosophy of Science*, 66(4), 534-541. <https://www.jstor.org/stable/188748>
- Bogen, J., y Woodward, J. (1988). Saving the phenomena. *Philosophical Review*, 97(3), 303-352. <https://doi.org/10.2307/2185445>
- Bricmont, J. (2016). *Making Sense of Quantum Mechanics*. Springer.
- Brown, H. (1987). *Observation and Objectivity*. Oxford UP.
- Brown, J. (1994). *Smoke and Mirrors: How science reflects reality*. Routledge.
- \_\_\_\_\_. (2008). *Philosophy of Mathematics: A contemporary introduction to the world of proofs and pictures*. Routledge.
- \_\_\_\_\_. (2011). *The Laboratory of the Mind: Thought experiments in the natural sciences* (2ª ed.). Routledge.
- Churchland, P. (1979). *Scientific Realism and the Plasticity of Mind*. Cambridge UP.
- \_\_\_\_\_. (1988). Perceptual Plasticity and Theoretical Neutrality: A Reply to Jerry Fodor. *Philosophy of Science*, 55(2), 167-187.
- Collins, H. (1992). *Changing order: Replication and induction in scientific practice* (2ª ed.). The University of Chicago Press.
- Daston, L. (2008). On Scientific Observation. *Isis*, 99(2), 97-110. <https://doi.org/10.1086/588627>
- Feynman, R., Leighton, R., y Sands, M. (1965). *The Feynman Lectures on Physics* (Vol. III). Addison-Wesley. [https://www.feynmanlectures.caltech.edu/III\\_01.html#Ch1-F4](https://www.feynmanlectures.caltech.edu/III_01.html#Ch1-F4)
- Franklin, A. (1984). The Epistemology of Experiments. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 35(4), 381-401. <https://www.jstor.org/stable/687342>
- \_\_\_\_\_. (2002). Física y experimentación. *Theoria. Revista de Teoría, Historia y Fundamentos de la Ciencia*, 17(2), 221-242. <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/40377/Theoria%2044%20221-242.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fodor, J. (1984). Observation Reconsidered. *Philosophy of Science*, 51, 23-43. <https://www.jstor.org/stable/187729>
- Galilei, G. [1638] (1947). *Two New Sciences*. Trad. S. Drake. University of Wisconsin Press.
- Gooding, D. (1992). Putting Agency Back into Experiment. En A. Pickering (Ed.), *Science as practice and culture* (pp. 65-112). The University of Chicago Press.
- Hacking, I. (1982). Experimentation and Scientific Realism. *Philosophical Topics*, 13(1), 71-87. [https://www.pdcnet.org/philtopics/content/philtopics\\_1982\\_0013\\_0001\\_0071\\_0087](https://www.pdcnet.org/philtopics/content/philtopics_1982_0013_0001_0071_0087)
- \_\_\_\_\_. (1983). *Representing and Intervening*. Cambridge UP.
- \_\_\_\_\_. (1988). Philosophers of Experiment. *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, 2, 147-156. <https://www.jstor.org/stable/192879>

- \_\_\_\_\_. (1992a). The Self-vindication of the Laboratory Sciences. En A. Pickering (Ed.), *Science as practice and culture* (pp. 29-64). The University of Chicago Press.
- \_\_\_\_\_. (1992b). Do Thought Experiments Have a Life of Their own? Comments on James Brown, Nancy Nersessian and David Gooding. *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, 2, 302-308. <https://doi.org/10.1017/S0270864700009383>
- Häggqvist, S. (2009). A Model for Thought Experiments. *Canadian Journal of Philosophy*, 39, 55-76. <https://www.jstor.org/stable/27822036>
- Hanson, N. (1958). *Patterns of Discovery: An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*. Cambridge UP.
- Hesse, M. B. (1963). *Models and Analogies in Science*. University of Notre Dame Press.
- Kosso, P. (1989). *Observability and Observation in Physical Science*. Kluwer.
- Kuhn, T. [1962] (2004). *La estructura de las revoluciones científicas*. FCE.
- Mach, E. [1897] (1973) "On Thought Experiments". Trad. O. Price y Krilmsky. *Philosophical Forum*, 4-3, pp. 446-457.
- Malik, S. (2017). Observation Versus Experiment: An Adequate Framework for Analysing Scientific Experimentation? *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie*, 48(1), 71-95. <https://doi.org/10.1007/s10838-016-9340-1>
- Norton, J. (2004). Why Thought Experiments Do not Transcend Empiricism. En Hitchcock, C. (ed.), *Contemporary Debates in the Philosophy of Science* (pp. 44-66). Blackwell.
- Radder, H. (2006). *The World Observed/The World Conceived*. University of Pittsburgh Press.
- Shapere, D. (1982). El concepto de observación en ciencia y en filosofía. En L. Olivé & y A.R. Pérez Ransanz (Eds.), *Filosofía de la ciencia: teoría y observación* (pp. 479-526). Siglo XXI.
- Shinod, N. K. (2017). Why Thought Experiments Do Have a Life of Their Own: Defending the Autonomy of Thought Experimentation Method. *Journal of Indian Council of Philosophical Research*, 34, 75-98. <https://doi.org/10.1007/s40961-016-0077-3>
- Sorensen, R. (1992). *Thought Experiments*. Oxford UP.
- Steinle, F. (1997). Entering New Fields: Exploratory Uses of Experimentation. *Philosophy of Science*, 64(4), S65-S74. <https://doi.org/10.1086/392611>.
- Tonomura, A., Endo, J., Matsuda, T., Kawasaki, T., y Ezawa, H. (1989). Demonstration of Single-electron Build up of an Interference Pattern. *American Journal of Physics*, 57, 117-120. <https://doi.org/10.1119/1.16104>
- Young, T. [1804] (1959). Experimental Demonstration of the General Law of the Interference of Light. En M. Shamos (Ed.), *Great experiments in physics* (pp. 96-101). Dover.