

## REFERENCIAS

- ALANEN, L. 1994 "Sensory Ideas, Objective Reality, and Material Falsity", en Cottingham, J. (ed.), *Reason, Will and Sensation*, Oxford: OUP.
- BEYSSADE, J. 1992 "Descartes on Material Falsity", en Cummins, G y Zoeller, G. (eds.) *Minds, Ideas and Objects: Essays on the Theory of Representation in Modern Philosophy*, Atascadero: Ridgeview.
- BISCHIA, R. 2010 "Falsedad material e ideas de la sensación: una propuesta de demarcación", trabajo inédito, leído en el XV Congreso Nacional de Filosofía, 6 al 10 de diciembre de 2010, Facultad de Derecho, UBA, Buenos Aires.
- BOLTON, M 1986 "Confused and Obscure Ideas of Sense", en Rorty, A. (ed.) *Essays on Descartes' Meditations*, Berkeley: U. of California Press.
- BROWN, D. 2008 "Descartes on True and False Ideas", en Broughton J. y Carriero, J. (eds.) *A Companion to Descartes*, Oxford: Blackwell.
- DE ROSA, R. 2004 "Descartes on Sensory Misrepresentation: The Case of Materially False Ideas", *History of Philosophy Quarterly*.
- FIELD, R. 1993 "Descartes on the Material Falsity of Ideas", *Philosophical Review*.
- GEWIRTH, A. 1943 "Clearness and Distinctness in Descartes", *Philosophy*, reproducido en W. Doney, *Descartes: A Collection of Critical Essays*, Garden City: Doubleday, 1967.
- GUEROULT, M. 1953 *Descartes selon l'ordre des raisons*, Tomo 1, Paris: Aubier.
- KAUFMAN, D. 2000 "Descartes on the Objective Reality of Materially False Ideas", *Pacific Philosophical Quarterly*.
- NADLER, S. 2006 "The Doctrine of Ideas", en Gaukroger, S. (ed.) *The Blackwell Guide to Descartes' Meditations*, Oxford: Blackwell.
- WELLS, N. "Material Falsity in Descartes, Arnauld and Suarez", *Journal of the History of Philosophy*.
- WILSON, M. 1978 *Descartes*, Londres: Routledge.
- WILSON, M. 1990 "Descartes on the Representationality of Sensation", en su *Ideas and Mechanism*, Princeton: Princeton UP, 1999.

Recibido: 10-2011; aceptado: 12-2011

## LA VIDA PROPIA DEL EXPERIMENTO. UN ANÁLISIS CRÍTICO DE LA AUTONOMÍA DE LA EXPERIMENTACIÓN<sup>1</sup>

**Romina Zuppone**

Universidad de Buenos Aires  
Facultad de Filosofía y Letras,  
Instituto de Filosofía Dr. Alejandro Korn

RESUMEN: La tesis de la autonomía de la experimentación es una de las ideas aparentemente compartidas en el marco del proyecto epistemológico del *nuevo experimentalismo*. Sin embargo, ni el estatus de dicha tesis, ni su interpretación son objeto de consenso. Intentaremos en este trabajo explicitar las diferentes formas que adopta esta afirmación para posteriormente sugerir, partiendo de un análisis del proceso de constitución de los resultados experimentales e ilustrándolo con el estudio de un experimento, la medición de la velocidad de la luz, cómo puede precisarse y cómo determinar cuál es el alcance y el límite de la *vida propia* del experimento.

PALABRAS CLAVE: experimento, autonomía de la experimentación, relaciones entre teoría y experimento, constitución de un resultado experimental.

ABSTRACT: The idea that experimentation is autonomous is widely shared amongst the New Experimentalists. However, it is not precisely stated how we should understand this thesis, or how to interpret it. In consequence, the aim of this paper is to explicate the different ways in which the autonomy of experiment thesis could be read, and to suggest, taking into account an analysis of the process by which an experimental result is constituted and exemplifying this process by the means of the study of an experiment, the measurement of the speed of light, how this thesis could be clarified and how to establish its scope and limits.

KEYWORDS: experiment, autonomy of experiments, theory and experiment, constitution of an experimental result.

1. Este trabajo se realizó en el marco de una beca doctoral otorgada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de Argentina. Quiero agradecer a Alejandro Cassini, a José Antonio Díez Calzada y a los evaluadores anónimos por sus comentarios y sugerencias.

*Une expérience de physique est l'observation précise d'un groupe de phénomènes accompagnée de l'interprétation de ces phénomènes; cette interprétation substitue aux données concrètes réellement recueillies par l'observation des représentations abstraites et symboliques qui leur correspondent en vertu des théories admises par l'observateur.*

PIERRE DUHEM

## 1. Introducción

La corriente del nuevo experimentalismo adquiere su nombre a partir de la reseña de Robert Ackermann (1989) al libro de Allan Franklin, *The Neglect of Experiment*, y ese nombre denota a un conjunto de filósofos, sociólogos y científicos que, a partir de la década de 1980, propusieron como unidad de análisis epistemológico al experimento; entre ellos podemos mencionar a Nancy Cartwright, Ian Hacking, Allan Franklin, Peter Galison, Ronald Giere, Deborah Mayo y al propio Ackermann. Ahora bien, aunque todos los pensadores a los que antes aludimos comparten el interés por el estudio de la experimentación y de sus problemas epistemológicos, se trata, en general, de una corriente heterogénea cuando se considera no ya el objeto de estudio, sino, por ejemplo, el marco teórico a partir del cual fundamentan sus contribuciones al área. Aún así, resulta posible encontrar un núcleo mínimo de ideas que estos pensadores compartirían. Por ejemplo, en su libro *Error and the Growth of Experimental Knowledge*, Deborah Mayo enumera tres tesis a las que los nuevos experimentalistas adherirían, a saber:

1. El estudio de la práctica experimental permite adjudicar a la observación su papel como base objetiva. Esto es, aceptar la carga teórica de la observación no implica la pérdida de objetividad de la misma.<sup>2</sup>
2. Los experimentos poseen una vida propia.

2. Para ello también resultan esclarecedores, aunque desde perspectivas diferentes, los trabajos de Shapere (1982), Brown (1987), Kosso (1989) y Radder (2006).

3. Existen estrategias epistemológicas que permiten establecer la validez de los resultados experimentales, distinguiendo un artefacto producido por el instrumento de un efecto genuino.

Entre ellas, la tesis que analizaremos a continuación, es la segunda, es decir la tesis de la *autonomía de la experimentación* (en adelante TAE), que frecuentemente se expresa con el eslogan que revivió Hacking “la experimentación posee una *vida propia*”. (1983, p. 262)

Si bien Hacking no proporciona ninguna referencia para el eslogan, ya Ernst Nagel en su clásico trabajo *The Structure of Science*, había afirmado que las leyes experimentales poseen una cierta autonomía respecto de las teorías científicas, entendiendo que:

Aunque una ley experimental sea explicada por una teoría dada y quede incorporada, de este modo, al armazón de ideas de esta última, la ley continúa teniendo dos características. Conserva un significado que puede ser formulado independientemente de la teoría; y se basa en elementos de juicio observacionales que, eventualmente, permitirán a la ley sobrevivir al abandono de la teoría. (...) Estos hechos indican que *una ley experimental tiene una vida propia*, por decir así, que no depende de la vida de ninguna teoría particular que pueda explicarla. (Nagel, 1961, pp. 90-91; cursivas nuestras).

El autor advierte en primer lugar que las generalizaciones empíricas de bajo nivel, por ejemplo, las leyes de reflexión o refracción de la luz, la tercera ley de Kepler, por mencionar sólo algunas, pueden formularse y aplicarse con independencia de las teorías científicas. Ahora bien, mientras que la formulación de una generalización empírica es posible sin mediación teórica, la explicación de dichas leyes, y la comprensión respecto de en virtud de qué mecanismos y procesos los sistemas físicos obedecen dichas leyes o manifiestan cierto comportamiento, requiere necesariamente la incorporación de las mismas en una teoría. Por ejemplo, tanto la teoría corpuscular de la luz propuesta por Newton como la teoría ondulatoria desarrollada por Huygens, permitían derivar las dos primeras leyes que mencionamos de sus respectivas teorías explicándolas, sin embargo, a partir del comportamiento de la luz propuesto por cada teoría.

Sin embargo, cuando veintidós años más tarde Hacking impuso el eslogan, la filosofía de la ciencia había cambiado. Los epistemólogos de raigambre historicista como Hanson, Feyerabend y Kuhn habían puesto en cuestión la neutralidad de la observación. ¿Cómo afirmar entonces que el experimento es autónomo si toda observación y, por consiguiente, todo experimento<sup>3</sup> está cargado de teoría? ¿Cómo afirmar la estabilidad de la base empírica en los cambios paradigmáticos? Sostener *TAE* requirió pues, una elaboración que limitara el alcance de la tesis de la carga teórica. Asimismo, los defensores de la llamada concepción estándar de las teorías, habían confinado el experimento a la contrastación de las teorías científicas (Cf. Popper, 1959, § 30, p. 89), mientras que los historicistas habían negado dicha función, reivindicando muchas otras. (Cf. Kuhn, 1977, Cap. 8). La filosofía de la experimentación asumió entonces, como parte de su agenda, algunos desafíos a los que los filósofos del experimento han dado respuesta con mayor o menor éxito. Dichos desafíos, consistieron en primer lugar, en relevar las funciones del experimento en la práctica científica. En segundo lugar, en dar plausibilidad tanto a la neutralidad de la base empírica como a la incidencia de la dimensión teórica en los experimentos. Y, por último, en defender la persistencia de los datos experimentales en el cambio teórico.

Este trabajo, sin embargo, no pretende proporcionar un análisis de las propuestas de los nuevos experimentalistas. Por el contrario, rastreamos las diversas formas que adopta *TAE*, y buscaremos precisarlas y moderarlas cuando lo consideremos necesario; cumplir ese objetivo nos permitirá, además, profundizar en el proceso de producción de un resultado experimental y delinear un esquema a partir del cual el cambio del significado de los resultados experimentales pueda ser anticipado.

## 2. *Los tres sentidos de la vida propia del experimento*

La filosofía de la experimentación es, en sentido estricto, una rama de la filosofía de la ciencia bastante reciente. Como esfuerzo

---

3. Tiende a aceptarse que existe una continuidad entre experimentos, mediciones y observaciones. Aquí, asumiremos dicha continuidad.

sistemático en el tratamiento filosófico de la práctica experimental, podríamos afirmar que comienza a delinearse a partir del libro *Representing and Intervening* de Ian Hacking<sup>4</sup>. Especialmente en el noveno capítulo de su libro, Hacking busca recuperar las diversas funciones que desempeñó el experimento en la historia de la ciencia, y con ello, intenta trascender las limitaciones que tanto el Empirismo lógico, especialmente con Carnap y Hempel, como los epistemólogos historicistas -entre los que destacaremos especialmente a Hanson y Kuhn- habían impuesto al experimento. Esto da lugar, entonces, a la primera versión de *TAE*:

- (1) El experimento posee una vida propia ya que no tiene como única función la contrastación de teorías científicas (Cf. Mayo, 1996, p. 61).

Y si esto es así, sugiere Hacking, es posible de recibir un tratamiento filosófico independiente de su función en la puesta a prueba de las teorías<sup>5</sup>. Es éste entonces, el primer sentido que adopta *TAE*, como podemos colegir a partir de la siguiente cita:

Hasta tal punto la filosofía de la ciencia se ha vuelto una filosofía de la teoría que la misma existencia de observaciones o experimentos pre-teóricos ha sido negada. Espero que los capítulos siguientes inicien un movimiento de vuelta a Bacon, en el que le pongamos más atención a la ciencia experimental. La experimentación tiene una vida propia. (Hacking, 1983, p. 262).

Tras esta afirmación Hacking insistirá en las múltiples funciones que posee el experimento en la práctica científica, entre ellas:

1. La contrastación de teorías.
2. La determinación del valor de parámetros y constantes.

---

4. No deberíamos olvidar, sin embargo, pensadores que han proporcionado una reflexión respecto de la experimentación, entre ellos, por ejemplo, Bacon, Duhem y Mach.

5. De todos modos, entiendo que, aun si la única función del experimento fuese la contrastación, eso no inhabilitaría la pertinencia del tratamiento filosófico del experimento por sí mismo.

3. La búsqueda de mayor precisión en los valores aceptados de parámetros y constantes mediante el desarrollo de nuevos métodos de medición.
4. El establecimiento de generalizaciones empíricas de bajo nivel, denominadas también hipótesis tópicas.
5. La exploración de nuevos dominios y fenómenos.
6. La creación de nuevos fenómenos.
7. El perfeccionamiento de tecnologías vigentes.

Hasta aquí, *TAE* no es objeto de mayores controversias –al menos no en la filosofía de la ciencia contemporánea– pero tampoco es una afirmación filosóficamente interesante. Esta versión tiene un componente básicamente descriptivo y nos conduce a asumirla como la manifestación de un hecho empírico. En efecto, es en virtud de examinar la historia de la ciencia que ésta nos muestra que muchos experimentos realizados no tenían como finalidad la contrastación de teorías, sino la exploración de nuevos fenómenos, etc. Desde luego, para la filosofía de la ciencia clásica es una tesis sustantiva y, también lo es en el contexto de la filosofía de la ciencia historicista.

Existen, sin embargo, dos interpretaciones más de *la vida propia del experimento*, con consecuencias epistemológicas relevantes y que, entiendo, reclaman una mayor precisión conceptual. En este trabajo, el énfasis estará puesto en la segunda interpretación, aunque haremos algunas sugerencias que nos permitirán, en trabajos posteriores, profundizar en la tercera versión de *TAE*, que, por razones de espacio, sólo será analizada aquí de modo preliminar.

La segunda formulación de *TAE* afirma lo siguiente:

- (2) Los experimentos poseen una vida propia ya que sus resultados pueden justificarse con independencia de las teorías (Cf. Mayo, 1996, p. 62).

Esta versión de la tesis, tiene como objetivo alejarse de una posición relativista. Si para la Concepción heredada, los productos de la experimentación eran la base sólida a partir de la cual fundamentar el conocimiento científico, se atribuye al historicismo el haber invertido el esquema tradicional para insistir en que toda observación se encuentra *cargada de teoría* (Cf. Galison, 1997, p.11).

Si deseamos entonces, defender la idea de que los resultados experimentales son –al menos en algún sentido– teóricamente neutros, es preciso que la experimentación sea –también en algún sentido– teóricamente neutra, y con ello autónoma, al menos respecto de aquellas teorías con las que se interpretarán los resultados de un experimento. En la próxima sección del trabajo mostraremos cómo puede precisarse esta intuición, preservando la objetividad de la experimentación sin por ello dejar de considerar la relevancia y la incidencia de los marcos teóricos en la práctica experimental.

Ahora bien, teniendo en cuenta que de la independencia teórica que pueda atribuirse a un resultado experimental dependerá en qué situaciones éste podrá persistir en el contexto de cambio teórico, la interpretación anterior de *TAE* estará a su vez profundamente ligada al tercer sentido que adquiere la tesis:

- (3) El conocimiento experimental persiste frente al cambio teórico (Cf. Mayo, 1996, p. 62).

Uno de los aspectos que suelen señalar los filósofos del experimento es la persistencia de los datos y los logros de la labor experimental en el contexto del cambio teórico.<sup>6</sup> Las leyes experimentales se conservan, y de hecho se espera que las nuevas teorías aceptadas puedan dar cuenta de las mismas. Pero no sólo las generalizaciones empíricas son estables en el contexto del cambio interteórico, sino también los *datos* obtenidos en la práctica experimental, y, para un realista de entidades como Hacking, las entidades tradicionalmente denominadas *teóricas* cuando estas satisfacen los criterios de intervención (Cf. 1983, p. 218 y ss.) y de manipulación (Cf. 1983, p. 291 y ss.).

### 3. La (des)carga teórica de la experimentación

Respecto de la formulación (1) de *TAE* aceptaremos que en las ciencias empíricas el experimento desempeña múltiples funciones,

---

6. Algo que la concepción heredada, como hemos visto anteriormente, aceptaba y defendía. Y, que en cada experimentalista adopta una elaboración particular.

y que, por tanto, no puede concebirse como un mero subsidiario de las teorías científicas y, por lo tanto, como exclusivamente subordinado a la función de testeo de una teoría. Pero tampoco es adecuado excluir sin más su función en la contrastación de teorías y la relevancia de los experimentos cruciales, como han sugerido los epistemólogos de raigambre historicista. Con ello, como señalamos anteriormente, aceptaremos como un hecho empírico que las funciones del experimento en la historia de las ciencias trascienden los roles que tradicionalmente le han adjudicado tanto la concepción heredada como el historicismo.

Respecto de las restantes formulaciones, creemos que ciertas distinciones nos permitirán realizar un aporte para la comprensión del alcance de cada una de las versiones de la tesis de la autonomía de la experimentación<sup>7</sup>. Retomemos la segunda interpretación de la tesis.

(2) Los experimentos poseen una vida propia ya que sus resultados pueden justificarse con independencia de las teorías.

Como habíamos anticipado, éste es un aspecto fundamental si deseamos limitar el impacto de la carga teórica de la observación en el marco de la producción de conocimiento experimental. Recordemos que el *locus clásico* para la afirmación según la cual “*toda observación está cargada de teoría*” es el trabajo de Hanson, *Patterns of Discovery*, si bien Feyerabend (1958) ya había defendido esta idea, y Duhem en su clásica obra de 1906 ya la había aplicado al caso específico de la experimentación en la física. Si bien Hanson reconoce la influencia que las ideas de Duhem tuvieron en su producción filosófica, su posición es mucho más radical. Mientras que el autor de *La théorie physique* afirma la existencia de dos momentos en la observación científica: la percepción y la interpretación teóricamente mediada de lo percibido; Hanson considera que esa distinción no es factible de ser realizada. Para éste *observar* es necesariamente

7. Esto no quiere decir que los filósofos del experimento no hayan propuesto elucidaciones respecto de las tesis que analizaremos. Tanto Ackermann (1985), como Franklin (1989), Hacking (1992) y Galison (1997) realizan propuestas sustantivas respecto de (2) y (3) que aquí no discutiremos.

*interpretar* a la luz de las teorías aceptadas. Ahora bien, la ausencia de una discriminación entre clases de *carga teórica* conlleva a consecuencias de carácter relativista. Hanson afirma (1967, p.7) tomando el caso de la astronomía clásica, que Tycho Brahe y Kepler no observan lo mismo cuando dirigen su mirada al firmamento durante el amanecer. En efecto, según Hanson: *Tycho y Simplicio ven un Sol móvil, Kepler y Galileo, un Sol estático*. Pero si esto es así, la misma base empírica presupone la teoría que se pretendería contrastar, y con ello, tanto la idea de la puesta a prueba de una teoría, como la posibilidad de justificación de los resultados experimentales, como la existencia de una base empírica estable en el contexto de cambio teórico, carecen de sentido.

Ahora bien, mucho se ha dicho y mucho puede decirse aún respecto de la carga teórica de la observación y de sus consecuencias epistemológicas, pero recordemos que en nuestro trabajo el interés reside en recuperar la cuota de verdad que esconden tanto la idea de carga teórica de la observación como la tesis de la autonomía de la experimentación.

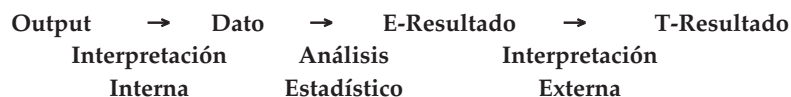
Cuando se afirma que los resultados experimentales son independientes, una de las preguntas a responder es la siguiente: ¿respecto de qué teorías y en qué sentido son independientes los resultados experimentales? Veremos que es posible distinguir al menos cuatro instancias en el proceso de conformación de un resultado experimental y que, en cada una de ellas hay teorías presupuestas que contribuyen a la interpretación de las diferentes clases de datos obtenidos. Con ello, mostraremos cómo, tanto la posición de Hanson como la de la corriente experimentalista deben ser reevaluadas y moderadas.

Podemos afirmar que en todo experimento hay un conjunto de presupuestos teóricos, aquellos que: (i) permiten realizar un diseño experimental adecuado para los propósitos de la investigación; (ii) permiten vincular lo observado con conceptos métricos; (iii) permiten realizar el análisis estadístico de los datos y expresar el resultado con su dispersión; y que, finalmente (iv) una o más teorías permiten interpretar este último resultado.

La interpretación del resultado es un proceso complejo, en el que podemos distinguir en principio dos etapas: una interna al experimento y otra externa al mismo. En primer lugar, y, en parte relacionado con (ii), se requiere una atribución de significado al

*output* de los instrumentos. En otros términos, el último momento de cada toma de datos de un experimento es un evento directamente perceptible, como por ejemplo, el movimiento de una aguja en un voltímetro, el sonido de un contador de partículas Geiger, una trayectoria en una cámara de niebla, dos puntos luminosos en un espejo, etc. Sin embargo, el *output* y el *resultado final* son instancias diferentes en los experimentos. Dependiendo del experimento considerado, el movimiento de la aguja en el voltímetro nos permitirá afirmar que hemos detectado ondas de gravedad, los sonidos del contador Geiger nos permitirán contar la cantidad de neutrinos presentes en un tanque y establecer cuál es el modo de producción de la energía solar, etc. La pregunta entonces es: ¿cómo es este salto posible?

Consideramos que en los casos en los que el resultado final del experimento sea subsumible bajo un concepto métrico, el *output* adquirirá parte de su significado al establecer una relación con una magnitud, por un proceso que denominaremos *interpretación interna* (en el sentido en que es *interna* al experimento). Como consecuencia de esta interpretación obtendremos *datos* que serán sometidos al análisis estadístico pertinente para el tipo de experimento, obteniéndose al finalizar este proceso lo que denominaremos *E-Resultado* –ya que es el resultado final del experimento– y, finalmente, el *E-Resultado*, será subsumido en una teoría que lo explique. A este proceso, lo denominaremos *interpretación externa*<sup>8</sup> y su producto, es lo que llamaremos un *T-Resultado*, es decir, un resultado experimental teóricamente interpretado. El siguiente diagrama resume lo dicho:



En las próximas secciones analizaremos un experimento: la primera medición de la velocidad de la luz a cargo de Albert Abra-

8. La distinción es conceptual. Lo que deseamos destacar es que el resultado final de un experimento requiere la vinculación de los datos con un marco teórico que les dé sentido.

ham Michelson. Con ello buscaremos profundizar e ilustrar la aplicación del esquema conceptual propuesto a un caso histórico concreto.

#### 4. Michelson y la medición de la velocidad de la luz<sup>9</sup>

Fue a fines del siglo XVII, con el aporte de Roëmer, quien al estudiar los satélites de Júpiter halló una forma de calcular el tiempo que la luz tarda en propagarse, que pudo dirimirse en primer lugar si acaso la velocidad de la luz era infinita, tal como pretendían Descartes y Kepler, o si era finita, como afirmaba Galileo. Es un hecho notable –aunque recurrente en la historia de la ciencia– que frente a la ausencia de consenso, sean las mediciones indirectas y, entre ellas, especialmente las determinaciones astronómicas, aquellas que permiten zanjar las discusiones en la física. Un caso análogo es el de la detección de ondas de gravedad. Los experimentos realizados en la primera época, que comenzaron en la década de 1960, y que dirigieron por ejemplo Joseph Weber y Richard Garwin, entre otros, proporcionaban resultados discordantes que se atribuían a problemas propios del diseño experimental. La existencia de las ondas de gravedad se aceptó finalmente, gracias a la detección de la variación del período orbital de los púlsares binarios, que Hulse y Taylor determinaron, razón por la cual recibieron el premio Nobel en física en el año 1993.<sup>10</sup>

Ya alcanzado el consenso respecto de la propagación finita de la luz, comenzaron a sugerirse experimentos de carácter terrestre para determinar su velocidad, experimentos que se realizaron espe-

9. Para una descripción exhaustiva del diseño experimental véase Michelson (1880) y también Newcomb (1891). Para una introducción a los experimentos de Michelson y a su vida, puede consultarse Jaffe, (1963) y también Millikan (1938); para un estudio de las diversas mediciones de la velocidad de la luz véase Plá (1947); para un tratamiento histórico y filosófico de la óptica física Mach (1913) es una obra clásica; y para informarse acerca del estado actual del conocimiento puede acudir a Hecht (2000).

10. Sobre este episodio véase Davis (1980), Collins (1992), Collins y Pinch (1998) y especialmente Collins (2004). También la crítica de Franklin a Collins en Franklin (2002).

cialmente en Francia, durante el siglo XIX. Hasta 1877, año en el que Michelson realiza su primera medición, los resultados anteriores eran, al menos en algún sentido, discordantes. La experiencia de Fizeau, basada en el método de la rueda dentada, que llevara a cabo en 1849, proporcionaba un valor de 313.300 Km/s; mientras que la medición de Foucault a partir de la técnica del espejo giratorio arrojaba un valor de 298.000 Km/s; por su parte, el experimento de Cornu de 1872, cuyos principios operativos descansaban –así como los de Fizeau– en el método de la rueda dentada, proporcionó el valor de  $300.400 \text{ Km/s} \pm 300 \text{ Km}$  (Cf. Plá, 1947, p. 120).<sup>11</sup> Los diferentes experimentos entonces, no llegaban a coincidir –al menos en algunos de los casos mencionados– siquiera en la primera cifra significativa.

Dada la divergencia entre las mediciones efectuadas, y advirtiendo que era posible mejorar el arreglo experimental que propusiera Foucault, Albert Michelson, en su experiencia de 1877, reubicó el sistema de lentes y espejos con el propósito de ampliar la desviación del haz de luz, producto de la rotación del espejo giratorio. Si era posible aumentar esta desviación sin pérdida de intensidad lumínica, afirmaba Michelson, entonces podría obtenerse un valor más preciso. En las próximas páginas, el análisis del diseño experimental y de los supuestos teóricos que lo posibilitan nos permitirá comprender en primer lugar por qué el aumento de la desviación es relevante y, fundamentalmente, poner a prueba nuestras hipótesis acerca del proceso de constitución de los resultados experimentales. Esto último, finalmente, nos permitirá comprender en qué sentido los resultados experimentales son teóricamente independientes, y de qué modo el cambio teórico afecta a los resultados experimentales, es decir, en qué sentido es posible sostener la tesis de la autonomía de la experimentación, que, como mencionamos, constituye una de las afirmaciones más caras para los filósofos del experimento.

11. No consideramos aquí el experimento de Arago propuesto en 1838 ya que no consiste en una medición de la velocidad de la luz, sino en un estudio comparativo de su comportamiento en diferentes medios. Con ello, las experiencias de Arago no permiten asignar un valor concreto al desplazamiento de un haz luminoso en función del tiempo que requiere para realizarlo.

En 1877, Michelson comienza, como parte de sus actividades en la Academia Naval de los Estados Unidos –aunque con financiamiento privado (Cf. Michelson 1880)– a optimizar el arreglo experimental del espejo giratorio que concibiera Foucault. Michelson introduce tres modificaciones en el diseño original que resultan fundamentales para realizar una medición más precisa: utiliza una lente esférica de gran distancia focal (L), ubica el espejo giratorio (R) en el punto focal de la lente y sustituye el espejo esférico del arreglo experimental de Foucault por un espejo plano (M).

Dado que la intensidad de un rayo luminoso es inversamente proporcional a la distancia recorrida por el haz de luz<sup>12</sup>, uno de los problemas en la experiencia de Foucault es la pérdida progresiva de intensidad del haz. Michelson recupera las objeciones que ya había señalado Cornu al arreglo experimental de Foucault: “La desviación [del haz luminoso] era demasiado pequeña como para ser medida con el grado de precisión necesario.” (Michelson, 1880, p. 116). La combinación de espejos, lentes y de sus posiciones relativas que propone Michelson permite superar el problema de la pérdida de intensidad y, por lo tanto, permite aumentar la distancia entre los espejos R y M, lo que a su vez hace posible una mayor desviación del haz de luz y una medición mucho más precisa.



Figura 1. (Adaptada de Michelson 1880)

La idea rectora que guía al experimento es la siguiente: si se envía un haz luminoso desde la fuente S al espejo R, que atraviese la lente L haciendo foco en el centro de M y si R se encuentra en reposo, por la ley de reflexión, el haz de luz incidirá en el espejo M

12. Es Kepler quien por primera vez enuncia esta ley, es decir que la intensidad de una fuente luminosa varía con el cuadrado de la distancia (Cf. Mach, 1913). En la actualidad la intensidad recibe el nombre de *irradiancia* (Cf. Hecht, 2000, p. 49).

y regresará, primero a R y finalmente al punto de partida, S. Ahora bien, si R comienza a rotar sobre su eje, (en la figura 1, la rotación ubicaría a R en una posición normal respecto del plano del papel), y si esta rotación es lo suficientemente rápida, se formará en S un nuevo punto luminoso, desviado respecto del original, en la dirección de la rotación de R. La desviación del segundo punto luminoso respecto del primero, se produce en la dirección de rotación del espejo giratorio y coincide con el doble de la distancia angular que realizó el espejo giratorio, en el tiempo que requirió la luz para recorrer el doble de la distancia entre los espejos, es decir, el trayecto RM-MR (Cf. Michelson, 1880). La figura 2 ilustra cómo, la variación en la posición de R genera un nuevo punto luminoso en S'.

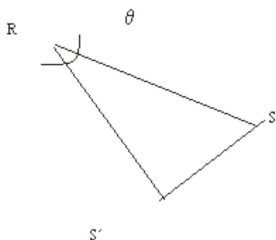


Figura 2.

El ángulo  $\widehat{S'RS}$ , que denominaremos  $\theta$  es, en este experimento, el ángulo de desviación, es decir, el ángulo subtendido por los haces de luz que tienen como origen el espejo giratorio. Ese ángulo, es la mitad del ángulo en el que el espejo rotó, desde el momento en el que el haz de luz partió desde S, hasta que llegó a M y regresó a R. Conocer el valor de  $\theta$  es –como veremos a continuación– clave en este experimento. Si conocemos la longitud del segmento  $\widehat{S'S}$  y del segmento  $\widehat{S'R}$  resulta posible calcular la tangente de  $\theta$ . Ahora bien, calculando la función inversa de la tangente de  $\theta$ , es decir, el *arco tangente*, podemos obtener el valor de  $\theta$  en radianes. Una vez obtenido este valor, se lo divide por dos, y ese es el valor del ángulo de rotación del espejo giratorio. Conociendo ahora el ángulo en el que el espejo rotó –si además conocemos la cantidad de revoluciones por segundo del espejo– resultará posible calcular

la velocidad de la luz. Michelson controló esta variable estroboscópicamente<sup>13</sup>.

Finalmente, si sabemos que la velocidad es el cociente entre distancia y tiempo, la distancia que recorre la luz es  $2RM$  y el tiempo está representado por  $(\theta/2)/n \cdot 360$ <sup>14</sup>; estaremos en condiciones de obtener la siguiente ecuación:

$$V = \frac{2 \times 360 \ n \times 2 \ RM}{\arctan(\widehat{S'S} / \widehat{RS'})}$$

Ahora que poseemos una idea general del experimento estamos en condiciones de analizar los distintos momentos del mismo conforme al esquema conceptual que presentamos en la tercera sección de este trabajo.

En primer lugar, ¿cuál es el evento directamente perceptible que proporciona el experimento? Es decir ¿cuál es el *output* en el arreglo experimental de Michelson? Lo reproducimos a continuación:

13. Para medir la velocidad de rotación de R y controlar que permanezca constante en la toma de datos, Michelson utilizó un diapasón que se mantenía en vibración a 128 revoluciones por segundo por medio de una turbina. El diapasón poseía un pequeño espejo en una de sus horquillas y estaba ubicado de modo tal que reflejaba la luz del espejo giratorio sobre un vidrio en el observatorio del dispositivo. Cuando el espejo rotatorio (R) se encuentra en movimiento y las revoluciones que realiza coinciden con las oscilaciones del diapasón, el espejo de este último produce una imagen única en el puesto de observación. Si las oscilaciones son diferentes, las imágenes son múltiples y ello indica que el espejo giratorio debe ser regulado.

14. La fórmula se obtiene por lo siguiente:

$$v = n = \text{ciclos por segundo};$$

$$360 \ v = \text{ángulo} / \text{tiempo}$$

$$T = \text{ángulo} / 360 \ v$$

Finalmente, si el ángulo que nos interesa es  $\theta/2$ , entonces:

$$T = (\theta/2) / 360 \ n$$





Figura 3. El *output* del experimento.  
Reproducido de Michelson (1880)

Ahora bien, difícilmente esta imagen indique, cuando es tomada en sí misma, algo acerca de la naturaleza de la luz y de su rapidez. Este dato crudo –que ciertamente permanecerá estable en el contexto de todo cambio teórico y que sólo será sujeto a revisión en el caso de detectarse un error de carácter técnico en el diseño experimental– es silente respecto del problema que guía al experimento. Este dato es neutral y es autónomo sólo en virtud de que no proporciona por sí mismo información alguna sobre la velocidad de la luz. Es sólo cuando estos puntos son interpretados como algo más, cuando se establece una relación entre los mismos, que pueden ser informativos, y ello supone un primer momento de carga teórica. Dados entonces los dos puntos luminosos  $S$  y  $S'$ , Michelson ubica un micrómetro en el plano de la recta que los une y procede a efectuar la medición de la distancia entre los mismos. Ya no se tratará de dos puntos, sino de la distancia entre ellos aquello relevante en el experimento. Éste es, entonces, el primer momento de atribución de significado al *output*, un *output* que, siguiendo la terminología propuesta, deviene *dato*.

Desde luego, cabe la pregunta respecto de por qué, dado el conjunto de relaciones que podemos establecer entre esos dos puntos luminosos, reparamos en la distancia entre ellos, y no, por ejemplo, en las diferencias de brillo, las diferencias entre sus radios, etc. Decir que, dados los objetivos del experimento, la distancia es la relación relevante es insuficiente, esto debe ser precisado. Debe poder explicarse por qué es relevante. En este caso, como habíamos anticipado, la distancia entre los puntos es aquello que permitirá calcular la tangente del triángulo cuyo vértice es el centro del espejo

jo giratorio. Y este dato permitirá relacionar el desplazamiento del espejo y el tiempo que transcurre hasta la producción de la segunda imagen o segundo punto luminoso,  $S'$ . En esta instancia de la interpretación interna, el *output* se ha cargado –en principio– con dos teorías de carácter formal: con una teoría de la medición, que establece que entre  $S$  y  $S'$  hay determinada longitud y con una rama de la geometría: la trigonometría, que informa que el segmento  $S-S'$  es la tangente del ángulo  $\theta$ .

Ahora bien, en una etapa posterior, el valor de la longitud medida es incorporado en una ecuación que relaciona las diferentes variables del experimento y que permite, finalmente, calcular la velocidad con la que la luz realizó el recorrido entre los dos espejos del dispositivo. Se produce con ello un nuevo momento en la interpretación interna, pero, esta vez, las teorías implicadas no son formales, sino empíricas, más específicamente, se trata de teorías físicas y, dado que estamos calculando la velocidad, el dato resultante dependerá de la adecuación de la teoría cinemática presupuesta para realizar el cálculo.<sup>15</sup>

Pasemos ahora de la producción de los datos del experimento a la reducción de los mismos a un único resultado por medio de la aplicación de algún método estadístico<sup>16</sup>. Esta reducción da como producto lo que denominamos *E-resultado* y conlleva un nuevo proceso de carga teórica, esta vez respecto de una teoría estadística, y, por lo tanto, también de carácter formal<sup>17</sup>. Toda modificación que sufra esta teoría –algo que si bien es improbable, no es lógicamente imposible– repercutirá sobre el *E-resultado*, modificándolo.

15. Lo dicho sugiere una distinción entre la interpretación del *output*, y la corrección de los errores propios del arreglo experimental, por ejemplo, si bien en la interpretación interna no se presupone una teoría mecánica para dotar de significado empírico al *output*, la correcta producción de éste sí depende del control de las perturbaciones propias de la fuerza centrífuga que experimenta el espejo giratorio en su rotación, esto último formaría parte de lo que suele denominarse como carga teórica instrumental, y que aquí no analizaremos.

16. El término *reducción* se utiliza aquí con el sentido técnico propio de las ciencias empíricas.

17. En el experimento considerado en esta sección consistió en calcular el valor medio de todas las mediciones efectuadas.

Asimismo, dado que el tipo de tratamiento estadístico de los datos depende fuertemente del diseño experimental elegido, en caso de que el tratamiento efectuado no fuese adecuado para el tipo de arreglo experimental en cuestión, reclamará una revisión del *E-resultado*<sup>18</sup>.

Seguidos estos pasos, realizada la reducción de los datos en el *E-Resultado*<sup>19</sup>, tiene lugar lo que entendemos como el último momento de carga teórica: la *interpretación externa* y, con ello, la producción del resultado final: el *T-Resultado*. En esta instancia –que surge de la reconstrucción filosófica, más que como momento final del experimento<sup>20</sup>– la interpretación externa otorga, subsumiendo al resultado en una red teórica, el significado final del *E-Resultado*. Bajo la dirección de ciertas teorías acerca de la luz, el *T-Resultado* o bien adquiere significado o bien se concibe como una anomalía que invitará a la revisión ya sea del experimento o de la teoría que se presupone como marco interpretativo. En el caso que hemos estudiado, cabe aclarar, que aun cuando se trate de un parámetro, el pasaje de la distancia entre los puntos luminosos al valor de la velocidad de la luz es una conversión posible sólo para un grupo de concepciones acerca de la naturaleza de la luz. Dicho de otro modo, afirmar que lo medido es la velocidad de la luz y, por consiguiente, asignar a la luz una velocidad finita, implica la aceptación de alguna de las teorías ópticas que consideran que la velocidad no es infinita (i.e. teorías ópticas *no-cartesianas*).<sup>21</sup> Este es el

18. Un ejemplo es el caso de las mediciones que efectuara Weber para la detección de ondas de gravedad. En este experimento, una de las críticas estuvo dirigida a la pertinencia del tratamiento estadístico de los datos. (Cf. Franklin, 2002).

19. En el caso del experimento en cuestión el *E-Resultado* es  $V = 299944 \pm 51$  (este valor contempla una corrección en el vacío).

20. Dicho en otros términos: El experimento se realiza porque se presume que la propagación de la luz no es instantánea. La *T-interpretación* es una suerte de *alfa y omega*, de posibilidad de comienzo y de clausura de sentido del experimento.

21. Entiendo que en este experimento no hay todavía una dependencia teórica respecto de la naturaleza corpuscular u ondulatoria de la luz. Por otra parte, en el experimento posterior de Michelson, en el que el dispositivo utilizado es el interferómetro, sí existe un compromiso respecto de

segundo momento de interpretación de los datos, que podríamos considerar externo al experimento.

Sin embargo, esta dependencia teórica no implica lesión alguna al sentido sustantivo que adopta la tesis de la autonomía de la experimentación cuando se la concibe como un modo de superar las conclusiones relativistas propias de la epistemología historicista. Veamos por qué razones.

Si bien podríamos afirmar que el experimento de Michelson parte del presupuesto teórico de que la velocidad de la luz es finita, el experimento podría haberse propuesto para obtener evidencia experimental a favor de la infinitud de la velocidad de la luz. En efecto, si el output del experimento hubiera consistido en un único punto luminoso, en lugar de dos, o sea, si la distancia entre S y S' hubiese sido igual a cero, la conclusión inevitable a partir de dicho resultado –suponiendo el correcto funcionamiento del diseño experimental– es que la luz se desplaza a una velocidad infinita. Si bien el objetivo de Michelson es el de determinar cuál es la velocidad *finita* de la luz, la pregunta de fondo es conceptual, es decir, si acaso el experimento está cargado teóricamente a favor de una teoría óptica no-cartesiana. Y la respuesta es negativa porque entre los posibles resultados hay uno de ellos que abogarí claramente a favor de la infinitud de la velocidad de la luz.

Dicho lo anterior, y dado el esquema conceptual y el caso analizado, ¿cómo podemos reinterpretar TAE (2)? En primer lugar, con respecto a los *outputs* obtenidos, se procede a evaluar y a eliminar, cuando corresponda, las posibles causas de error en las mediciones realizadas, y, en general a aplicar algunas de las estrategias que forman parte de lo que Allan Franklin (1989) denominó *epistemología del experimento*. Esta justificación consiste en una evaluación de los diversos aspectos del diseño que permite afirmar que el proceso experimental que produce los *outputs* ha sido correcto. Si hay dependencia teórica, esta dependencia es respecto de un subconjunto de las teorías presupuestas en el diseño experimental. Dicho de otro modo, no se justifica la adecuación de los *outputs* obtenidos apelando a las teorías que explicarán el resulta-

cuál es la naturaleza de la luz, por cuanto la producción de patrones de interferencia es una propiedad de las ondas y no de los corpúsculos.

do final, es decir, a aquellas teorías que proveerán lo que denominamos interpretación externa. Y este es, justamente, el costado problemático de la afirmación historicista de la carga teórica de toda observación.

Por otra parte, el paso del *output* a los datos depende de la posibilidad de subsumir a los primeros bajo un concepto métrico y, además, de vincularlos con el resto del experimento. La significatividad de los datos depende de una teoría de la medición fundamental, y también de que la relación propuesta entre el dato y las restantes variables contempladas en el experimento sea adecuada. En este sentido, tampoco los datos dependen de las teorías que explican el resultado final. Que en el caso estudiado, son aquellas teorías que permitirían afirmar que lo que se ha calculado ha sido la velocidad finita de la luz.

#### 6. Una aproximación al estudio de TAE 3.

Hasta aquí, hemos intentado precisar y dar plausibilidad a la idea de que los datos experimentales son teóricamente neutrales y hemos buscado elucidar en qué sentido esa afirmación puede sostenerse. Esta neutralidad no es absoluta, como hemos visto, sino que radica en que el segundo momento de la interpretación de los datos depende de teorías diferentes respecto de aquellas que permiten llevar a cabo los experimentos. Dicho lo anterior, entonces, estaremos en mejores condiciones para determinar en qué sentido en la historia de la ciencia se cumple que los productos de la experimentación persisten en el cambio teórico. Volvamos ahora a la tercera versión de la autonomía de la experimentación:

(3) El conocimiento experimental persiste frente al cambio teórico (Cf. Mayo, 1996, p. 62).

Si bien no podremos en este trabajo dar cuenta cabal de esta versión, intentaremos al menos dejar planteado un esquema heurístico que ofrezca los lineamientos para un análisis futuro. Como habíamos anticipado, la segunda versión de TAE se relaciona con la afirmación de que el conocimiento experimental persiste en el contexto del cambio teórico, es decir, con la tercera versión de TAE

que señalamos. Pero ¿qué significa que el conocimiento experimental persista en el cambio teórico?

Recordemos que al analizar TAE (2) habíamos realizado algunas distinciones. Tomamos en cuenta los *outputs* del experimento, los consideramos algo diferente tanto de los *datos*, como de los *resultados*, indicamos que la validez –o la justificación de la validez de los *outputs*– dependía de la adecuación del dispositivo diseñado para efectuar la medición, y con ello de la adecuación de las teorías a partir de las cuales el experimento se diseña. En el caso de los datos señalamos que dependen de la teoría de la medición por medio de la cual se transforman en un valor para una cierta magnitud, y que además, dependen de las relaciones que establezcan con los restantes momentos del experimento. Indicamos también que la obtención del *E-Resultado* depende de la pertinencia del análisis estadístico elegido, y, desde luego, de que el mismo haya sido competentemente realizado. Finalmente, indicamos que el *T-Resultado*, cuando por ello se entiende que un experimento ha determinado la velocidad de la luz, depende de que el *E-Resultado* pueda ser subsumido en una teoría que lo explique.

Dicho esto, si bien no podremos en este trabajo explorar con detalle TAE 3, al menos intentaremos delinear en qué casos deberíamos esperar una corrección ya sea del *output*, del significado de datos obtenidos, del *E-Resultado* o del *T-Resultado*. Para ello es necesario realizar algunas precisiones más. Si asumimos que en una teoría empírica no todos sus componentes tienen la misma relevancia, y asumimos por lo tanto una estratificación intrateórica de carácter lakatosiano, o también afín al estructuralismo, notaremos que una teoría puede sufrir modificaciones de diferente naturaleza. Si el *núcleo duro* o si las *leyes fundamentales* de la teoría se modifican, estaremos en presencia de un cambio interteórico, si, por el contrario, es el *cinturón protector* de hipótesis auxiliares o alguna de las *especializaciones* de la teoría la que varía, estaremos en presencia de un cambio de carácter intrateórico; además, sabemos que las teorías no son entidades aisladas y que, en general, no introducen todos los conceptos que utilizan, sino que los toman de otras teorías, estableciéndose entre ellas *vínculos interteóricos*. Teniendo en cuenta estas distinciones estamos en condiciones de enumerar los tipos de cambio teórico que serían relevantes en el contexto de la experimentación.

1. Cambio intrateórico en alguna de las teorías presupuestas en el experimento.
2. Cambio interteórico de alguna de las teorías presupuestas en el experimento.<sup>22</sup>
3. Cambio intrateórico en la teoría que explica los resultados.
4. Cambio interteórico de la teoría que explica los resultados.
5. Modificación de otras teorías que se vinculan por medio de vínculos interteóricos con las teorías supuestas en el experimento.
6. Modificación de otras teorías que se vinculan por medio de vínculos interteóricos con la teoría que explica el experimento.

Los casos 1 y 2 pueden implicar el cambio de significado de los *datos* (i.e. cambio de la interpretación interna), mientras que en los casos 3 y 4 pueden implicar el cambio de significado del *T-Resultado* (i.e. cambio de la interpretación externa). Las revisiones más drásticas son aquellas que derivan de una situación de tipo 2 y/o 4. En los casos 5 y 6 habría que evaluar de qué clase de vínculo se trata y de qué modo incide este cambio en la producción de *outputs*, *datos* o *E-Resultados* si se cumple 5, o de qué modo incide el cambio en el *T-Resultado* si se cumple 6. Además, en los casos en los que el cambio sea interteórico deberíamos evaluar en cada situación específica, si el cambio repercute en las teorías presupuestas en el diseño experimental o en la interpretación del *E-Resultado*, y ello, por ejemplo, desde el estructuralismo, podría evaluarse considerando qué elemento teórico de la red teórica ha variado.

Resulta preciso destacar que la distinción de posibles formas de cambio en el conocimiento propio del ámbito experimental no plantea necesariamente una tensión respecto de la tesis de la autonomía de la experimentación. El que los experimentos tengan una vida propia respecto de la teoría no significa, como he advertido antes, que tengan una vida propia respecto de *toda* teoría. Si esto es así, es decir, si sólo estamos autorizados a reclamar una autonomía

22. Tanto en 1 como en 2, deberíamos distinguir qué teoría de aquellas presupuestas, cambia, dado que no todo cambio afectará del mismo modo a los *outputs*, a los *datos* o al *E-Resultado*.

parcial, entonces parece legítimo que frente a un cambio teórico resulte conceptualmente posible una reinterpretación de los resultados obtenidos en sus distintos niveles. Sin duda el *output* en la medida en que se arrije a éste con el rigor y la pericia técnica requerida permanecerá constante, pero el hecho de que existan diversas instancias de interpretación teóricamente cargadas que doten de sentido a este dato crudo habilita inmediatamente a la consideración respecto de la resignificación del *output* frente al cambio de las teorías que fundamentan y posibilitan su interpretación. La ausencia de tematización sistemática de este punto, por parte de los *nuevos experimentalistas*, obedece más a la falta de distinción entre los distintos constructos conceptuales posteriores a la obtención del *output* que a su posible disidencia respecto a este punto.

## 7. Conclusión

Hemos intentado en estas páginas analizar una de las afirmaciones más caras a los filósofos del experimento y, a su vez, para poder lograrlo, hemos debido refinar nuestro propio análisis de la producción de los datos en un experimento. Hemos propuesto entonces una distinción entre los diversos productos de los experimentos y los hemos vinculado con aquellas teorías o supuestos teóricos de los que dependen. Con ello, hemos sugerido en qué sentido y con qué limitaciones pueden sostenerse tanto la idea de que los *outputs*, *datos*, *E-Resultados* y *T-Resultados* pueden considerarse justificados con independencia de las teorías, respecto de qué teorías son independientes y respecto de qué teorías sí dependen. Precisar este último aspecto, nos permitió a su vez, sugerir en qué casos deberemos esperar una modificación en el conocimiento experimental. Dicho de otro modo, en qué situaciones se cumplirá y en qué situaciones no se cumplirá la versión (3) de *TAE*.

Dado que el análisis propuesto en este trabajo asume que existen teorías científicas independientes entre sí y que es posible identificarlas, implica una toma de posición negativa respecto de un holismo epistemológico fuerte, según el cual, por ejemplo, toda la física se pone en juego en la contrastación experimental. Por ello, algo a evaluar es ¿qué sucede con los procesos de unificación de teorías? ¿Qué sucede si es posible reducir la totalidad de las teorías

físicas a la teoría general de la relatividad y a la mecánica cuántica y si, además, se logra que ambas sean compatibles? ¿En qué consistiría entonces la autonomía de la experimentación? ¿Deberíamos acaso adoptar una posición coherentista respecto del conocimiento científico? Pero, desde luego, los límites del presente trabajo impiden el tratamiento de este problema, por lo que me limito a señalarlo.

### BIBLIOGRAFÍA

- ACKERMANN, R. (1985), *Data, Instruments, and Theory: A Dialectical Approach to Understanding Science*, Princeton, Princeton University Press.
- ACKERMANN, R. (1989), "The New Experimentalism", *British Journal for the Philosophy of Science*, **40**: 185-190.
- BROWN, H. (1987), *Observation and Objectivity*, New York, Oxford University Press.
- CARTWRIGHT, N. (1983), *How the Laws of Physics Lie*, Oxford, Clarendon Press.
- COLLINS, H. (1992), *Changing Order: Replication and Induction in Scientific Practice*, Second Edition, Chicago, University of Chicago Press. (1a ed 1985).
- COLLINS, H. y PINCH, T. (1998) *The Golem: what You Should Know about Science*, Second Edition, Cambridge, Cambridge University Press. (1a ed. 1993).
- COLLINS, H. (2004), *Gravity's Shadow: The Search for Gravitational Waves*, Chicago and London, University of Chicago Press.
- DAVIES, P. (1980), *The Search for Gravity Waves*, Cambridge, Cambridge University Press.
- DUHEM, P. (1914), *La théorie physique: son objet, sa structure*, Paris, M. Rivière, (1906).
- FEYERABEND, P. (1958), "An Attempt at a Realistic Interpretation of Experience", en: *Proceedings of the Aristotelian Society*, Vol. 58. (Reimpreso en Feyerabend 1981, pp. 17-36).
- FEYERABEND, P. (1981), *Realism, Rationalism & Scientific Method: Philosophical Papers. Volume 1*, Cambridge, Cambridge University Press.
- FRANKLIN, A. (1986), *The Neglect of Experiment*, Cambridge, Cambridge University Press.

- FRANKLIN, A. (1989), "The Epistemology of Experiment", en: GOODING, D. y PINCH, T y SCHAFFER, S. (Eds.), *The Uses of Experiment: Studies in the Natural Sciences*. Cambridge, Cambridge University Press. Pp. 437-460.
- FRANKLIN, A. (2002), *Selectivity and Discord: Two Problems of Experiment*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press.
- GALISON, P. (1987), *How Experiments End*, Chicago and London, University of Chicago Press.
- GALISON, P. (1988), "Philosophy in the Laboratory", *Journal of Philosophy*. **85**: 525-527.
- GALISON, P. (1997), *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*, Chicago, University of Chicago Press.
- GIERE, R. (1988), *Explaining Science: A Cognitive Approach*, Chicago and London, University of Chicago Press.
- GOODING, D. y PINCH, T y SCHAFFER, S. (Eds), (1989), *The Uses of Experiment: Studies in the Natural Sciences*, Cambridge, Cambridge University Press.
- HACKING, I. (1983), *Representing and Intervening*, Cambridge, Cambridge University Press, 1996.
- HACKING, I. (1988), "On the Stability of the Laboratory Sciences", *Journal of Philosophy*, **85**: 507-514.
- HACKING, I. (1988), "Philosophers of Experiment", *PSA* **2**: 147-156.
- HACKING, I. (1992), "The Self-Vindication of Laboratory Sciences", *Science as Practice and Culture*. PICKERING, A. (Ed.) Chicago and London, University of Chicago Press. (pp. 29-64).
- HANSON, N.R. (1958), *Patterns of Discovery: An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*, Cambridge, Cambridge University Press.
- HECHT, E. (2000), *Óptica*, Madrid, Addison Wesley Iberoamericana.
- HUGHES, T. (1976), *Science and the Instrument Maker: Michelson, Sperry and the Speed of Light*, Washington, Smithsonian Institution Press.
- JAFFE, B. (1960), *Michelson and the Speed of Light*, New York, Doubleday.
- KOSSO, P. (1989), *Observability and Observation in Physical Science*, Dordrecht-Boston-London, Kluwer Academic Publishers.
- KUHN, T.S. (1962), *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, University of Chicago Press. (Second enlarged edition 1970).
- KUHN, T.S. (1977), *The Essential Tension. Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, Chicago, University of Chicago Press.

- LAKATOS, I. (1970), "Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes", in: LAKATOS, I. MUSGRAVE, A. (Eds.) (1970), *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge, Cambridge University Press. Pp. 91-196).
- LAKATOS, I. MUSGRAVE, A. (Eds.) (1970), *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge, Cambridge University Press.
- MACH, E. (1905), *Conocimiento y Error*, Buenos Aires, Espasa-Calpe.
- MACH, E. (1913), *The Principles of Physical Optics: An Historical and Philosophical Treatment*, New York, Dover.
- MACKAY, R. y OLDFORD, R. (2002), "Scientific Method, Statistical Method and the Speed of Light", *Statistical Science*, 15, 3: 254-278.
- MAYO, D. (1994), "New Experimentalism, Topical Hypotheses and Learning from Error", *PSA*, 1: 270-279.
- MAYO, D. (1996), *Error and the Growth of Experimental Knowledge*, Chicago and London, University of Chicago Press.
- MICHELSON, A. (1880), "Experimental Determination of the Velocity of Light", U.S. Nautical Almanac Office, *Astronomical Papers* 1, Parte III, 115-145.
- MILLIKAN, R. (1938), Biographical Memoir of Albert Abraham Michelson, *National Academy of Sciences*, XIX: 120-140.
- NAGEL, E. (1961), *The Structure of Science*, New York, Harcourt, Brace and World.
- NEWCOMB, S. (1891), "Measures of the Velocity of Light made under the direction of the Secretary of the navy during the years 1880-1882", U.S Nautical Almanac Office, *Astronomical Papers* 2, Parte III, 107-230.
- PLÁ, Cortés, (1947), *Velocidad de la Luz y Relatividad*, Buenos Aires, México, Espasa Calpe.
- POPPER, K. (1959), *The Logic of Scientific Discovery*, London and New York, Routledge.
- RADDER, H. (Ed.) (2003), *The Philosophy of Scientific Experimentation*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press.
- RADDER, H. (2006), *The World Observed / The World Conceived*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press.
- SHAPER, D. (1982), "The Concept of Observation in Science and Philosophy", *Philosophy of Science* 49:125-146.

Recibido: 09-2011; aceptado: 12-2011